

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-234832

(43)Date of publication of application : 13.09.1996

(51)Int.Cl.

G05B 23/02  
G21D 3/04

(21)Application number : 07-037264

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 24.02.1995

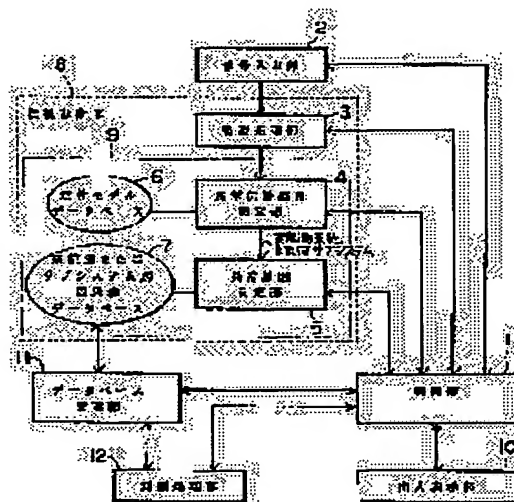
(72)Inventor : TAMAOKI TETSUO  
SONODA YUKIO  
ENOMOTO MITSUHIRO  
KANEMOTO SHIGERU  
KOMAI NORIMITSU  
KAGEYAMA TAKAO  
OTA YASUO

## (54) DEVICE AND METHOD FOR MONITORING AND DIAGNOSTIC PLANT

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To speedily diagnose the factor of abnormality even when the influence of abnormality generated at a large scale plant is propagated between systems or subsystems in a short time and any change appears in process signals over a wide range.

**CONSTITUTION:** This device is provided with a monitor processing part 3 for detecting the runaway of a monitor index from a normal range calculated by the process signal observed at the plant as an abnormality indication, qualitative model data base 6 registering a network model describing the characteristics of influence propagation between the respective monitor indexes, abnormality propagation route identifying part 4 for identifying the route of abnormality propagation caused by abnormality by collating the observed indication pattern with the network model, cause-and-effect table data base 7 registering a cause-and-effect table describing the indication patterns of respective monitor indexes estimated to various abnormality factors, abnormality factor identifying part 5 for identifying the abnormality factor by collating the cause-and-effect table of monitor indexes identified as the origins of abnormal changes with the observed indication patterns, and output display part 10 for outputting the identified influence propagation route.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

24.08.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

BEST AVAILABLE COPY



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 プラントで観測されるプロセス信号より算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、各監視指標の徴候パターンを作成する監視処理部と、各監視指標間の影響伝播特性を記述したネットワークモデルを登録した定性モデルデータベースと、観測された徴候パターンをネットワークモデルと照合して異常変化の起点となった監視指標と異常による影響伝播経路を同定する異常伝播経路同定部と、プラントの系統やサブシステム毎に種々の異常原因に対して想定される各監視指標の徴候パターンを記述した因果表を登録した因果表データベースと、異常変化の起点と同定された監視指標の該当するプラントの系統やサブシステムに対する因果表と観測された徴候パターンとを照合して異常原因を同定する異常原因同定部と、少なくとも同定された影響伝播経路を出力し、因果表に該当する徴候パターンが含まれる場合には異常原因を併せて出力する出力表示部とを備えたことを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載のプラント監視診断装置において、因果表に該当する徴候パターンが含まれない場合には、これを追加することにより学習を行うデータベース管理部を備えたことを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 3】 因果表は、監視指標毎に当該監視指標に最初に影響が現れることが想定される種々の異常原因と徴候パターンの組み合わせを登録したものであることを特徴とする請求項 1 記載のプラント監視診断装置。

【請求項 4】 プラントで観測されるプロセス信号より算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、得られた各監視指標の徴候パターンを、各監視指標間の影響伝播特性を記述したネットワークモデルと照合して異常変化の起点となった監視指標とその影響伝播経路を同定し、変化の起点となった監視指標に最初に異常の影響が現れることが想定される種々の異常原因毎に徴候パターンを記述した因果表と観測された徴候パターンとを照合して異常原因を同定することを特徴とするプラント監視診断方法。

【請求項 5】 プラントで観測されるプロセス信号より算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、各監視指標の徴候パターンを作成する監視処理部と、プラントの系統、サブシステム毎に他の系統やサブシステムの異常を含む種々の異常原因に対して想定される各監視指標の徴候パターンを記述した因果表と観測された徴候パターンとを照合し、異常が観測された他の系統やサブシステムの影響を受けておらず、他の系統やサブシステムの異常徴候を説明し得る原因を現在の異常原因として同定する異常原因同定部とを備えたことを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 6】 プラントで観測されるプロセス信号より

2

算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、得られた各監視指標の徴候パターンを、種々の異常原因に対して想定される各監視指標の徴候パターンを記述した因果表と照合することにより診断を行った結果を、徴候の一致する監視指標の多い原因を可能性の高い原因候補として可能性の高い順に並べ替え、また監視指標については異常徴候の現れた時間の早い順に並べ替えて因果表の形式で表示することを特徴とするプラント監視診断方法。

【請求項 7】 プラントで観測されるプロセス信号より算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、得られた各監視指標の徴候パターンを、種々の異常原因に対して想定される各監視指標の徴候パターンを記述した因果表と照合することにより診断を行った結果、同定された異常原因によって発生する各監視指標の異常徴候を含む事象の進展をツリー状に表示することを特徴とするプラント監視診断方法。

【請求項 8】 プラントに生じる特定の異常のみに反応するプロセス信号から当該異常に固有の監視指標を算出してその正常範囲からの逸脱を検出したことにより当該異常を異常原因と同定する第 1 診断手段と、プロセス信号やその検波信号の現在値から、その過去の一定期間内の平均値、その信号を平滑化して得られる値、他の少なくとも一つのプロセス信号の現在および過去の少なくとも一方の値の関数として与えられる値を予測値として差し引いた残差を監視指標としてその正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、各監視指標の徴候パターンを種々の異常原因に対して想定される徴候パターンを記述した因果表と照合することにより異常原因を同定する第 2 診断手段とを備え、第 1 診断手段と第 2 診断手段を同時並行して実行し、第 1 診断手段の結果を第 2 診断手段の結果に優先して出力することを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 9】 プラントに生じる特定の異常のみに反応するプロセス信号から当該異常に固有の監視指標を算出してその正常範囲からの逸脱を検出したことにより当該異常を異常原因と同定する第 1 診断手段と、プロセス信号やその検波信号の現在値から、その過去の一定期間内の平均値、その信号を平滑化して得られる値、他の少なくとも一つのプロセス信号の現在および過去の少なくとも一方の値の関数として与えられる値を予測値として差し引いた残差を監視指標としてその正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、各監視指標の徴候パターンを種々の異常原因に対して想定される徴候パターンを記述した因果表と照合することにより異常原因を同定する第 2 診断手段とを備え、第 1 診断手段を実行して異常原因が同定された場合、その結果を出力して第 2 診断手段を実行せず、第 1 診断手段で該当する原因が同定されなかった場合にのみ第 2 診断手段を実行することを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 10】 プラントで観測されるプロセス信号より算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、得られた各監視指標の徴候パターンを、各監視指標間の影響伝播特性を記述したネットワークモデルと照合して異常変化の起点となった監視指標とその影響伝播経路を同定し、変化の起点となった監視指標の時間的変化の波形を、当該監視指標が変化の起点となった登録済み事例データより算出した当該監視指標の時間的変化の波形と比較照合し、一定の値以上の高い類似度を与える事例の異常原因を現在の異常原因の候補と診断することを特徴とするプラント監視診断方法。

【請求項 11】 プラントで観測されるプロセス信号より算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、各監視指標の徴候パターンを作成する監視処理部と、各監視指標間の影響伝播特性を記述したネットワークモデルと観測された徴候パターンとを照合して異常変化の起点となった監視指標とその影響伝播経路を同定する異常伝播経路同定部と、当該監視指標が変化の起点となった登録済み事例を検索して当該監視指標を\*

$$\int_{\tau}^{\tau+t_0} f(t-\tau) \cdot x(t) \cdot dt / \int_0^{t_0} f^2(t) \cdot dt$$

の最大値を類似度とすることを特徴とするプラント監視診断方法。

【請求項 14】 プラントで観測されるプロセス信号より算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出するに際し、プラントに対して人為的、機械的に行われる計画的な操作毎にその開始と終了に伴い生じる監視指標の変化と、操作の影響を受けて変化する可能性のある監視指標と変化の現れる期間を予め登録しておき、操作の開始に伴う変化を検出した場合には影響を受ける監視指標を一定期間あるいは終了に伴う変化を検出するまで異常検出の対象から除外することを特徴とするプラント監視診断方法。

【請求項 15】 プラントで観測されるプロセス信号より算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出する監視処理部と、プラントに対して人為的、機械的に行われる計画的な操作毎にその開始と終了に伴い生じる監視指標の変化と、操作の影響を受けて変化する可能性のある監視指標と変化の現れる期間を予め登録した操作情報データベースと、登録されている操作情報を基に監視指標を算出し操作の開始に伴う変化を検出した時点から一定期間あるいは終了に伴う変化を検出するまで操作の影響を受ける監視指標を異常検出の対象から除外する指令を前記監視処理部に発する操作識別部とを備えたことを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 16】 因果表には、プラントに対して人為的、機械的に行われる計画的な操作に対して想定される各監視指標の徴候パターンを含むことを特徴とする請求項 1、2、3、4 または請求項 5 記載のプラント監視診断

\* 算出する事例データ抽出部と、変化の起点となった監視指標の時間的変化の波形と抽出された事例データの時間的変化の波形との類似度を評価する比較照合部とを備え、一定の値以上の高い類似度を与える事例の異常原因を現在の異常原因の候補として出力することを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 12】 請求項 10 記載のプラント監視診断方法において、事例データとの照合において、変化の起点となった監視指標の変化検出前後の一定期間を時系列データとして取り出し、同様にして取り出した同じ期間長の事例データとの間で算出した相関関数の最大値を類似度とすることを特徴とするプラント監視診断方法。

【請求項 13】 請求項 10 記載のプラント監視診断方法において、事例データとの照合において、変化の起点となった監視指標の変化検出前後の期間  $t_0$  を取り出した時系列データを基本関数  $f(t)$  とし、事例データ  $x(t)$  との間で算出した評価関数

【数 1】

装置。

【請求項 17】 事例データには、プラントに対して人為的、機械的に行われる計画的な操作が行われた事例データを含むことを特徴とする請求項 11 記載のプラント監視診断装置。

【請求項 18】 プラントで観測されるプロセス信号より算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出するに際し、プラントに対して人為的、機械的に行われる計画的な操作毎にその開始と終了に伴い生じる監視指標の変化と、操作により最初に変化するアナログ監視指標  $X$  とその影響を受けて変化する可能性のあるその他のアナログ監視指標  $\{Y_i\}$  と、変化の現れる期間を予め登録しておき、操作の開始に伴う変化を検出した時点から一定期間あるいは終了に伴う変化を検出するまでの間、前記アナログ監視指標  $\{Y_i\}$  については相対変化率  $\{Y_i/X\}$  を新たな指標としてその正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出することを特徴とするプラント監視診断方法。

【請求項 19】 請求項 1、2、3 または 11 記載のプラント監視診断装置において、異常伝播経路同定部では、監視指標間の影響伝播特性にフィードバック制御によって一定に保持される関係を導入し、制御系のフィードバック効果によって過渡変化が抑制されたことにより、監視指標の観測値に影響が見かけ上現れない場合でも、伝播経路が成立したと見なすことを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 20】 請求項 1、2、3 または 11 記載のプラント監視診断装置において、異常伝播経路同定部で

は、監視指標間の影響伝播特性に時間遅れを与えておき、監視処理部において原因側の監視指標に異常徴候が検出されていて結果側の監視指標には検出されていない場合、この時間遅れを基に結果側の監視指標の変化の特徴を抽出する時間範囲と正常値の範囲を限定して異常徴候を再評価した後、異常伝播経路を同定することを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 2 1】 請求項 1、2、3 または 1 1 記載のプラント監視診断装置において、異常伝播経路同定部では、監視指標間の影響伝播特性に時間遅れを与えておき、同定された伝播経路が閉ループを構成した場合には最初に異常徴候の検出された閉ループ内の監視指標を当該閉ループの起点とし、2 つの監視指標間に異なる伝播経路が見かけ上成立した場合には原因側監視指標の異常徴候検出時刻に伝播時間遅れを加えた時刻を結果側の監視指標の異常徴候検出時刻と比較することにより真の伝播経路を推定することを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 2 2】 請求項 1、2、3 または 1 1 記載のプラント監視診断装置において、異常伝播経路同定部では、プラントの異常に対して設けられている保護シーケンスの作動が監視指標に与える影響伝播特性を定性モデルに含めておき、シーケンスの作動を検出した時点から観測される監視指標の異常徴候を当該定性モデルに基づき予測したその後の監視指標の徴候と比較することによりプラントの応答を監視することを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 2 3】 請求項 1、2、3、1 1 または 1 9 記載のプラント監視診断装置において、異常伝播経路同定部による診断結果の出力表示では、ゲインが正の伝播特性、ゲインが負の伝播特性、フィードバック効果を示す伝播特性の 3 種類の有向線分で監視指標に該当するプロセス信号の名称を結んだ図を描き、監視指標の観測された変化挙動を、増加、減少、変化なしの 3 種類に分類した結果をプロセス信号の名称と併せて表示し、変化の起点と同定されたプロセス信号の名称を強調表示すると共に、同定された影響伝播経路に該当する有向線分の色を変えて表示するようにしたことを特徴とするプラント監視診断装置。

【請求項 2 4】 請求項 1、2、3 または 1 1 記載のプラント監視診断装置において、異常伝播経路同定部による診断結果の出力表示では、プラントの系統図の中にプロセス信号の観測点と信号名称を明示し、当該プロセス信号より算出した監視指標の変化挙動を、増加、減少、および変化なしに分類した結果をプロセス信号名称と併せて表示して、変化の起点と同定された監視指標に該当するプロセス信号とその信号に直接影響を与える上流側の機器を強調表示するとともに、同定された影響伝播経路に存在する、制御回路、配管、弁、ポンプなどの色を変えて表示するようにしたことを特徴とするプラント監

視診断装置。

【請求項 2 5】 請求項 1 ～ 9 または 1 6 記載のプラント監視診断装置において、種々の異常原因や計画的操作と想定される各監視指標の徴候パターンとの関係は、ツリー形式の因果樹やプロダクション形式のルールとして表現したものであることを特徴とするプラント監視診断装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

10 【産業上の利用分野】 本発明は、原子力発電プラント、火力発電プラント、化学プラントなどの大規模プラントのプロセス信号を基に運転状態を監視して異常の発生を早期に検出し診断するプラント監視診断装置および方法に関する。

【0 0 0 2】

20 【従来の技術】 一般に、プラントに発生する異常には、プラントを構成する機器の機械的な異常と、例えば流体の流量の不安定振動のように機械的には健全であるものの運転状態としては異常という 2 つのタイプがある。また、これらの異常を検出するために用いるプロセス信号には、ポンプの場合、吐出圧力や流量といった性能・機能を示す主効果パラメータと、運転に付随して生じる振動や音、温度といった 2 次効果パラメータとがある。

30 【0 0 0 3】 前記の機械的異常は、機器毎に 2 次効果パラメータを測定する検出器を設けて監視すれば検出できる可能性は高いが、大規模プラントにおいては多大なコストを必要とする。そのため、このような直接的監視を行う対象は主要な機器のみとし、多くの機器についてはその異常の影響が主効果パラメータの変化となって現れて初めて検出するような方法を採用している。

40 【0 0 0 4】 しかしながら、2 次効果パラメータに現れる変化がほとんどの場合に特定の機器の異常に対応付けられるのに対して、主効果パラメータには前記の運転状態としての異常の他に多くの機器の異常が影響を与える可能性がある。また、運転条件の変化や機器の動作確認試験などが行われる場合には、主効果パラメータに変化が現れたからといって、必ずしもそれが異常に起因するものであるとは断定できない。

50 【0 0 0 5】 以上の背景から従来より、プラントの主効果パラメータにより異常を検出するとともに、プラント全体を 1 つのシステムとして見たときにこれを構成する系統あるいはサブシステムのどれが異常源であるかを診断する技術が開発されてきている。また、2 次効果パラメータも含めて利用することにより、その原因、すなわち、運転状態としての異常であればどのような種類の異常であるのか、機器の異常であればどの機器が異常になったのかを診断する技術も開発されてきている。

【0 0 0 6】 これらの技術については、例えば大島榮次監修「設備診断予知保全事典」（1 9 8 8 年発行）などに紹介されており、異常源を診断する技術の典型例に、

いわゆるモデルベースの方法があり、原因を診断する技術の典型例に因果表に基づく方法がある。

【0007】モデルベースの方法は、物理法則によって支配された主効果パラメータの正常運転状態における挙動をサブシステム毎に数式モデルで記述しておく。そして、このモデルを用いてサブシステムへの入力パラメータの観測値から出力パラメータを算出し、その結果を基準値として実際に観測された出力パラメータの値と比較することにより異常を検出する。つまり、入力パラメータの変化では説明できない出力パラメータの変化を示すサブシステムを異常源とするものである。しかし、モデルベースの方法は、異常の発生を初期段階で検出するために高い精度のモデルが必要となり、大規模なプラント全体の高精度な挙動モデルを構築することは困難である。

【0008】このため、主効果パラメータ間の伝達挙動の位相遅れが180度未満（同相）か180度以上（逆相）かという情報のみをネットワークモデルとして記述した符号付き有向グラフによる診断法が開発されている。この方法は主効果パラメータがそれぞれの通常値を基準として増加あるいは減少したことを検出し、変化の増減方向を符号付き有向グラフで記述されたプラントシステム全体の定性的挙動モデルに照らし合わせることににより、変化の起点となったパラメータと影響の伝達経路を同定するものである。

【0009】一方、因果表に基づく方法は、プロセス信号の値が通常値に比べて増加した（あるいは異常に高い）か、減少した（異常に低い）か、正常かの判定結果を症状として、予め想定可能な異常原因毎に各信号の症状の組である徴候パターンを関連付けた表を予め与えておき、観測された徴候パターンをこの表と照合することにより診断するものである。上記因果表の作成は、一般にプラントを構成する機器の故障モード／影響評価によって想定すべき異常原因を網羅し、波及効果を評価するイベントツリー解析により徴候パターンを予測することによって行われる。

【0010】また、人為的、機械的に行われることにより、プロセス信号に現れる計画的操作の影響については、操作スイッチの状態信号が測定されている場合に、操作中であることを検出して、その間の監視診断を行わないといった方法が採られている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、プラントの健全性を維持し安定した運転を行うためには、プロセス信号を連続的あるいは定期的に監視し、異常の発生によって現れる変化を速やかに検出し、その原因を究明して適切に対処することが要求される。しかしながら、従来開発されている技術には以下に挙げる課題により、多くの場合その要求を満たすことが難しい。すなわち、

(1) 定性モデルによる診断方法は、プラントで生じた

異常の影響が短時間の内に系統あるいはサブシステム間を伝播し、広範なプロセス信号に変化が現れる場合にも信号単位での異常源同定は可能であるが、個々の信号が1対1で特定の異常原因に反応する特殊な場合を除けば、一般に原因を同定することが不可能である。

【0012】(2) 因果表に基づく方法は、想定可能な原因に関して診断可能であるが、扱う信号数の規模によって指数関数的に表の規模が拡大することから、大規模プラントに単純には適用できない。

【0013】この問題に対応するため、プラント全体をいくつかの系統あるいはサブシステムに分解し、その各々に対して因果表を作成しておくことが考えられるが、これでは異常の影響が短時間に系統あるいはサブシステム間を伝播する場合、診断が困難となる。

【0014】(3) 因果表に基づく方法では、プラント監視診断装置の稼動開始時点で想定していなかった異常が発生した場合に対応できない。

【0015】(4) 因果表に定義される徴候パターンは、異常の程度などによって実際に観測されるパターンと完全に一致するとは限らない。また、系統あるいはサブシステム毎に因果表を分割した場合は、同定された原因に対して与えられた徴候パターンに含まれない信号の変化が観測される可能性があり、全ての徴候が同定された原因で説明可能か否かを把握することが難しい。

【0016】(5) 因果表には、各信号の測定値そのものの症状ばかりでなく、これを加工して得られる種々の特徴パラメータを監視指標とした場合の症状を含めることができるが、各指標間の因果関係に関する情報が含まれないため、診断理由を理解し難い。

【0017】上記(2)は、監視診断装置として実用上要求される処理時間を達成するために解決すべき課題であるが、実用性の観点から解決すべき課題には、この他に以下のものが挙げられる。

【0018】(6) 対象プラントにおいて固有の重要な異常事象や実際に経験した異常に対しては、それぞれの検出に適した固有の指標があれば、これを用いて監視することが効果的である。上記(5)に述べた通り、このような特殊な指標の症状を因果表に含めて診断することも可能であるが、特殊指標の異常がそのまま特定異常の発生を示す場合には効率的でない。

【0019】(7) プロセス信号の増加、減少といった単純な症状以外に、変化の仕方、すなわち波形を過去の事例データの波形と比較することにより、異常原因を推定できる場合があるが、従来は原因究明に従事する人間の閃きに依存していたため、常に診断が可能とは限らない。

【0020】(8) 人為的、機械的に行われることにより、プロセス信号に現れる変化に基づいて計画的操作の内容を積極的に識別することは従来行われておらず、したがって、その影響を受けない信号については監視を継



続するといったきめ細かな対応は採られていない。また、人為操作が機器の動作確認などの目的で行われる場合、確認対象である機器の動作は当然監視されるものの、その影響を受ける他のプロセス状態についてその変化が妥当なものであるか否かを常に監視することは通常困難である。

【0021】この他、上記(1)で述べた定性モデルによる診断方法においても常に異常源同定が可能とはいえず、以下のような実用上解決すべきいくつかの課題が指摘されている。すなわち、

(9) 従来の技術において述べた通り、符号付き有向グラフで表現した定性モデルは、信号変化の伝播特性を伝播の方向と位相でしか表現していない。すなわち、原因側の信号が増加すれば結果側の信号も増加、減少すれば減少、という正の伝達ゲインを有する「助長」の関係と、原因側の信号が増加すれば結果側の信号は減少、減少すれば増加、という負の伝達ゲインを有する「抑制」の関係の2種類しかない。したがって、原因側の信号の増減で結果側の信号が一定に保たれるといったような関係を表現できず、フィードバック効果などを扱うことができない。

【0022】(10) 定性モデルには、信号変化の伝播特性に時間の概念が入っていない。したがって、時間の経過を考慮に入れて逐次過渡変化の伝播状況を診断することができない。また、同定した異常徴候を示す監視指標の影響伝播経路が閉ループ状になった場合には、変化の起点になった信号を同定することができない。

【0023】(11) 定性モデルによる診断方法は、観測信号の初期変化に基づいて変化の起点となった信号と影響伝播経路を同定するものであり、異常が進展して保護シーケンスが作動した場合、時々刻々変化するプラント状態をリアルタイムで診断することはできない。

【0024】本発明は上記事情を考慮してなされたもので、その第1の目的は、前記課題の(1)、(2)、(3)、(4)を解決し、大規模プラントで生じた異常の影響が短時間の内に系統あるいはサブシステム間を伝播し広範なプロセス信号に変化が現れる場合にも速やかに異常原因を診断することのできるプラント監視診断装置および方法を提供することにある。

【0025】本発明の第2の目的は、前記課題の(5)を解決し、分かり易い診断結果を提供することのできるプラント監視診断装置および方法を提供することにある。

【0026】本発明の第3の目的は、前記課題の(6)を解決し、広く想定可能な異常を診断する機能と特定の事象に注目した診断を効率的に行う機能を有するプラント監視診断装置を提供することにある。

【0027】本発明の第4の目的は、前記課題の(7)を解決し、観測されたプロセス信号の波形を過去に経験した異常事例における波形と比較照合することにより診

断することのできるプラント監視診断装置および方法を提供することにある。

【0028】本発明の第5の目的は、前記課題の(8)に対して、プロセス信号に現れる計画的な操作の影響を識別することで、真の異常の発生を検出することのできるプラント監視診断装置および方法を提供することにある。

【0029】本発明の第6の目的は、プロセス信号に現れるはずの異常徴候がフィードバック効果によって抑制されて見かけ上現れない、あるいは信号変化が小さいために通常変動に隠れて異常徴候が検出できない、また影響伝播経路が閉ループ状になった場合に変化の起点が同定できない、などといった定性モデルによる診断方法の課題(9)、(10)、(11)を、複雑な数値処理なしに解決するプラント監視診断装置および方法を提供することにある。

【0030】以下、本発明においてはプロセス信号の観測値そのものを含めて、正常範囲を示す閾値との比較によって異常検出を行う監視対象を全て監視指標という。

【0031】

【課題を解決するための手段】本発明は第1の目的を達成するために、定性モデルによる異常源同定と因果表による異常原因同定の能力を組み合わせた手段を提供するものである。すなわち、プラントで観測されるプロセス信号より算出される監視指標の正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、得られた各監視指標の徴候パターンを、各監視指標間の影響伝播特性を記述したネットワークモデルと照合して異常変化の起点となった監視指標とその影響伝播経路を同定した後に、異常変化の起点と同定された監視指標の該当するプラントの系統やサブシステムの種々の異常原因に対して想定される各監視指標の徴候パターンを記述した因果表と観測された徴候パターンを照合して異常原因を同定することにより、少なくとも同定された影響伝播経路を出力し、因果表に該当する徴候パターンが含まれる場合には異常原因を併せて出力し、因果表に該当する徴候パターンが含まれない場合には、これを追加することにより学習を行うことを特徴とするプラント監視診断装置を提供する。

【0032】また、上記因果表との同定において、異常による影響伝播経路の起点となった監視指標に最初に影響を与える異常原因のみに対して想定される徴候パターンを記述した因果表と観測された徴候パターンとを照合して異常原因を同定することを特徴とするプラント監視診断装置を提供する。

【0033】本発明はまた因果表に基づく診断の課題(2)に対して、各監視指標の徴候パターンを、プラントの系統やサブシステム毎に他の系統やサブシステムの異常を含む種々の異常原因に対して想定される各監視指標の徴候パターンを記述した因果表と照合し、異常が観測された他の系統やサブシステムの影響を受けておら

ず、他の系統あるいはサブシステムの異常徴候を説明し得る原因を現在の異常原因として同定することを特徴とするブラント監視診断装置を提供する。

【0034】本発明は第2の目的を達成するために、因果表による診断結果の表示において、徴候の一致する監視指標の多い原因を可能性の高い原因候補として可能性の高い順に並べ替え、また監視指標については異常徴候の現れた時間の早い順に並べ替えた表形式で表示することを特徴とするブラント監視診断方法を提供する。

【0035】また、因果表に基づく診断の結果同定された異常原因候補に対して、因果表作成時に行ったイベントツリー解析の結果に各監視指標の異常徴候を含めて事象の進展をツリー状に表示することを特徴とするブラント監視診断方法を提供する。

【0036】本発明は第3の目的を達成するために、ブラントに生じる特定の異常のみに反応するプロセス信号から当該異常に固有の監視指標を算出してその正常範囲からの逸脱を検出したことにより、当該異常を異常原因と同定する第1診断手段と、プロセス信号やその検波信号の現在値から、その過去の一定期間内の平均値、その信号を平滑化して得られる値、他の少なくとも一つのプロセス信号の現在および過去の少なくとも一方の値の関数として与えられる値を予測値として差し引いた残差を監視指標としてその正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出し、各監視指標の徴候パターンを種々の異常原因に対して想定される徴候パターンを記述した因果表と照合することにより異常原因を同定する第2診断手段とを備え、第1診断手段と第2診断手段を同時並行して実行し、第1診断手段の結果を第2診断手段の結果に優先し\*

$$\int_{\tau}^{\tau+t_0} f(t-\tau) \cdot x(t) \cdot dt / \int_0^{t_0} f^2(t) \cdot dt$$

の最大値を類似度とする。

【0041】本発明は第5の目的を達成するために、ブラントに対して人為的、機械的に行われる計画的操作毎にその開始と終了に伴い生じる監視指標の変化と、操作の影響を受けて変化する可能性のある監視指標と変化の現れる期間を予め登録しておき、操作の開始に伴う変化を検出した場合には影響を受ける監視指標を一定期間あるいは終了に伴う変化を検出するまで異常検出の対象から除外することを特徴とするブラント監視診断装置および方法を提供する。

【0042】本発明はまた、上記計画的操作が行われていると判断される期間に操作の影響を受けるプロセス信号の応答特性を監視する手段として、操作により最初に変化するアナログ監視指標Xとその影響を受けて変化する可能性のあるその他のアナログ監視指標{Yi}を予め登録しておき、操作の開始に伴う変化を検出した時点から一定期間あるいは終了に伴う変化を検出するまでの間、前記アナログ監視指標{Yi}については相対変化

\*て出力することを特徴とするブラント監視診断装置を提供する。

【0037】本発明の第3の目的はまた、前記第1診断手段を実行して異常原因が同定された場合にはその結果を出力して第2診断手段を実行せず、第1診断手段で該当する原因が同定されなかった場合にのみ第2診断手段を実行することを特徴とするブラント監視診断装置によっても達成することができる。

【0038】なお、以上の説明においては因果表として記載された種々の異常原因に対し想定される徴候パターンを、例えばツリー形式の因果樹、あるいはプロダクション形式のルールとして表現することも可能である。

【0039】本発明は第4の目的を達成するために、定性モデルによって同定された、変化の起点となった監視指標の時間的変化の波形を、当該監視指標が変化の起点となった登録済み事例データより算出した当該監視指標の時間的変化の波形と比較照合し、一定の値以上の高い類似度を与える事例の異常原因を現在の異常原因の候補と診断することを特徴とするブラント監視診断装置および方法を提供する。

【0040】前記波形同士の比較照合においては、変化の起点となった監視指標の変化検出前後の一定期間を時系列データとして取り出し、同様にして取り出した同じ期間長の事例データとの間で算出した相関関数の最大値、あるいは変化の起点となった監視指標の変化検出前後の期間t0を取り出した時系列データを基本関数f(t)とし、事例データx(t)との間で算出した評価関数

【数2】

率{Yi/X}を新たな指標としてその正常範囲からの逸脱を異常徴候として検出することを特徴とするブラント監視診断方法を提供する。

【0043】計画的操作を識別する目的は、ブラントに対して人為的、機械的に行われる計画的操作に対して想定される各監視指標の徴候パターンを異常原因同定用の因果表に含めておくことにより、通常の監視処理によって作成した監視指標の異常徴候パターンをこの因果表と照合することを特徴とするブラント監視診断装置によって達成することができる。

【0044】また、ブラントに対して人為的、機械的に行われる計画的操作が行われた事例データを用意しておき、監視指標の異常徴候パターンを定性モデルと照合して異常な変化の起点となった監視指標の時間的変化波形を、当該監視指標が変化の起点となった計画的操作実施時事例データの波形と照合することにより診断するブラント監視診断装置によって達成される。

【0045】本発明は第6の目的の中、定性モデルによ



る診断方法の課題(9)を解決するために、監視指標間の影響伝播特性にフィードバック制御によって一定に保持される関係を導入し、制御系のフィードバック効果によって過渡変化が抑制されたことにより監視指標の観測値に影響が見かけ上現れない場合でも、伝播経路が成立したと見なすことを特徴とするプラント監視診断装置を提供する。

【0046】信号変化が小さい場合に異常の影響伝播経路が同定し難いという課題に対しては、監視指標間の影響伝播特性に時間遅れを与えておき、監視処理によって原因側の監視指標に異常徴候が検出されていて結果側の監視指標には検出されていない場合、この時間遅れを基に結果側の監視指標の変化の特徴を抽出する時間範囲と正常値の範囲を限定して異常徴候を再評価した後、異常伝播経路を同定することを特徴とするプラント監視診断装置を提供する。

【0047】本発明はまた、定性モデルによる診断方法の課題(10)を解決するために、同定された伝播経路が閉ループを構成した場合には最初に異常徴候の検出された閉ループ内の監視指標を当該閉ループの起点とすること、2つの監視指標間に異なる伝播経路が見かけ上成立した場合には原因側監視指標の異常徴候検出時刻に、予め与えた監視指標間の伝播時間遅れを加えた時刻を結果側の監視指標の異常徴候検出時刻と比較することにより、真の伝播経路を推定することを特徴とするプラント監視診断装置を提供する。

【0048】定性モデルによる診断方法の課題(11)に対しては、プラントの異常に対して設けられている保護シーケンスの作動が監視指標に与える影響伝播特性を定性モデルに含めておき、シーケンスの作動を検出した時点から観測される監視指標の異常徴候を当該定性モデルに基づき予測したその後の監視指標の徴候と比較することによりプラントの応答を監視することを特徴とするプラント監視診断装置を解決手段として提供する。

【0049】この他、第2の目的に含まれるべきものとして定性モデルによる異常影響伝播経路の診断結果を分かり易く提供する手段として、ゲインが正の伝播特性、ゲインが負の伝播特性、フィードバック効果を示す伝播特性、の3種類の有向線分で監視指標に該当するプロセス信号の名称を結んだ図を描き、監視指標の観測された変化挙動を、増加、減少、変化なしの3種類に分類した結果をプロセス信号の名称と併せて表示し、変化の起点と同定されたプロセス信号の名称を強調表示するとともに、同定された影響伝播経路に該当する有向線分の色を変えて表示するようにしたことを特徴とするプラント監視診断装置を提供するものである。

【0050】また、上記有向線分に換えて、プラントの系統図の中にプロセス信号の観測点と信号名称を明示し、当該プロセス信号より算出した監視指標の変化挙動を、増加、減少、および変化なしに分類した結果をプロ

セス信号名称と併せて表示して、変化の起点と同定された監視指標に該当するプロセス信号とその信号に直接影響を与える上流側の機器を強調表示するとともに、同定された影響伝播経路に存在する、制御回路、配管、弁、ポンプなどの色を変えて表示するようにしたことを特徴とするプラント監視診断装置を提供するものである。

【0051】

【作用】請求項1記載の本発明のプラント監視診断装置では、監視指標に異常徴候が検出された場合、監視指標間の影響伝播特性を記述したネットワークモデルによって変化の起点となった監視指標とその影響伝播経路が同定されることから、全ての異常徴候が1つの起点により説明可能か否かを容易に把握することができる。

【0052】また、起点の監視指標の算出に用いたプロセス信号が得られたプラントの系統あるいはサブシステムが異常源であることが明かとなり、異常原因同定において観測される異常徴候パターンとの照合に用いる因果表の規模を系統あるいはサブシステム単位に小さく限定することが可能となる。

【0053】これにより、短時間の中にプラントの広い範囲のプロセス信号に影響が伝播するような異常が発生した場合にも、それが想定可能な異常であればその原因まで診断し、想定外の異常であっても少なくとも異常源と影響伝播経路を提示することができる。

【0054】請求項2記載の本発明のプラント監視診断装置では、請求項1記載のプラント監視診断装置によって想定外の異常と診断された場合に、観測された徴候パターンを直ちに因果表に登録することにより想定事象の1つとして学習し、以後の診断に役立つ知識として提供することができる。

【0055】請求項3、4記載の本発明のプラント監視診断装置および方法では、請求項1記載のプラント監視診断装置と同じ作用を得るだけでなく、異常原因同定に用いる因果表の規模が、変化の起点と同定された監視指標に最初に異常の影響が現れることが想定される異常原因のみに限定されることから、診断処理に要する時間を更に短縮することができる。

【0056】請求項5記載の本発明のプラント監視診断装置では、短時間の中にプラントの広い範囲のプロセス信号に影響が伝播するような異常が発生した場合に、照合対象とすべき系統やサブシステム単位の因果表は複数存在することになるが、各因果表に他の系統やサブシステムの異常を原因候補として含むことによって系統やサブシステム単位の因果関係を把握できることになり、最も原因側に近い系統やサブシステムの因果表によって異常原因を診断することができる。

【0057】請求項6、7記載の本発明のプラント監視診断方法では、前記の因果表に基づく診断において同定された異常原因候補に関して、異常徴候が検出された監視指標を、検出時間順に並べ換えて表示する、あるいは

直接的にイベントツリーの中に含めて表示する、ことにより同定の根拠となった各監視指標の異常徴候の関連把握を支援することができる。

【0058】請求項8、9記載の本発明のプラント監視診断装置では、特定の異常に固有の監視指標に基づく第1診断手段を、多くのプロセス信号に一律的に適用可能な処理によって算出し得る監視指標の異常徴候パターンと因果表との照合に基づく第2診断手段と分離して設けたことにより、短絡的な診断が可能な場合の処理時間を短縮することができる。逆に、固有の監視指標の算出に長時間を要する場合には、このような分離を行うことにより一律的な監視指標を用いた診断処理時間への影響を排除することができる。

【0059】請求項10～13記載の本発明のプラント監視診断装置および方法では、定性モデルによって異常変化の起点と同定された監視指標についてのみ、事例データとの波形の比較照合を行うことにより、容易に類似事例を検索し異常原因の推定に資することができる。定性モデルに基づく診断を先に行うことにより、異常徴候を示す全ての監視指標についての波形照合の必要性を排除できる。

【0060】請求項14、15に記載の本発明のプラント監視診断装置および方法では、監視処理を行う前に計画的操作が行われたことを確認し、操作の影響を受ける可能性のある監視指標のみを異常検出の対象から除外することで、監視診断装置が不要な警報を出さないようにするとともに、その他の監視指標についての監視を継続することができる。

【0061】請求項16、17記載の本発明のプラント監視診断装置では、計画的操作が行われる場合にも監視処理は実行し、操作に起因して監視指標に異常徴候が検出された場合には観測された徴候パターンを因果表の徴候パターンと照合することにより、あるいは定性モデルにより異常変化の起点と同定された監視指標の波形を事例データと照合することにより、操作の識別を行うことができる。これにより、計画的操作が行われる毎にプラント監視診断装置の動作が正常か否かを確認することができる。

【0062】請求項18記載の本発明のプラント監視診断方法では、請求項14、請求項15記載のプラント監視診断装置および方法において、監視対象から除外した監視指標の中、計画的操作によってプラントに与えられた外乱の大きさを評価し得るアナログ監視指標を入力、その影響を受けて変化する各アナログ監視指標を出力と見なし、外乱発生期間中の入出力間の伝達ゲインを監視することであたかも能動的な外乱印加試験を行った場合のようにプラントの挙動の監視を行うことができる。

【0063】請求項19記載の本発明のプラント監視診断装置では、定性モデルに導入した、フィードバック効果によって一定に保持され得る、と言う関係を考慮して

監視指標の徴候パターンを照合することにより、伝播経路の途中にフィードバック効果の影響を受けて変化が観測されない監視指標があった場合にも伝播経路として同定することができる。

【0064】請求項20記載の本発明のプラント監視診断装置では、定性モデルに基づく診断に必要な異常徴候を確認する範囲を、原因側の信号が変化した時刻から与えられた時間遅れだけ経過した時刻の前後の限定した時間帯に設定することにより、感度よく変化の徴候を検出することができる。

【0065】請求項21記載の本発明のプラント監視診断装置では、定性モデルによって同定された異常の影響伝播経路がループ状になった場合にも各監視指標の異常検出時刻を基にループの起点を同定することができる。また、監視指標間に複数の伝播経路が成立し得る場合にも、各監視指標の異常徴候が検出された時刻と、伝播特性に与えられた時間遅れを照合して真の伝播経路を同定することができる。

【0066】請求項22記載の本発明のプラント監視診断装置では、プラント異常時に備えて設けられた保護シーケンスの作動を起点にしてプロセス信号の応答を予測し、観測される挙動が予測された動きと一致するかどうかを逐次確認することにより、時々刻々変化するプラント状態をリアルタイムで監視することができる。

【0067】請求項23、24記載の本発明のプラント監視診断装置では、フィードバック効果を含む符号付き有向グラフで表現した請求項20記載の定性モデル、あるいはプラント系統図の上に、異常徴候の検出された監視指標と同定された伝播経路を色を変えて示すことにより、各監視指標の異常徴候の関連が容易に把握できるように支援することができる。

【0068】請求項25記載の本発明のプラント監視診断装置では、請求項1～9または16記載のプラント監視診断装置および方法と同等の作用を異なる徴候パターン照合方式に基づく原因同定手段によって示すことができる。

【0069】

【実施例】以下、本発明に係るプラント監視診断装置および方法の実施例を図面に基づいて説明する。

【0070】図1は本発明に係るプラント監視診断装置の第1の実施例の構成を示すブロック図、図2は第1の実施例の処理の流れを示すフローチャート図である。図1において、制御部1は装置全体の実行を制御する機能を有し、定期的に診断実行指令を出力する。信号入力部2はこの実行指令を受けて予め設定された信号ID、サンプリング周期などの入力条件に従ってプラントよりプロセス信号を入力する。

【0071】監視処理部3は、監視指標毎に信号処理方式、正常範囲を示す上下限閾値などが予め設定された監視条件に従って入力されたプロセス信号より監視指標を

算出して上下限閾値と比較し、上限閾値を越えた指標に対しては「増加」、下限閾値を下回った指標に対しては「減少」、正常範囲内であれば「変化なし」とする3種の徴候を判定する。上記「増加」または「減少」が異常な変化である。

【0072】監視指標としては信号そのものあるいは検波処理して得られる標準偏差相当の信号の現在値から、例えばその過去の一定期間内の平均値、あるいはその信号を平滑化して得られる値、あるいは他の1あるいは複数のプロセス信号の現在および／または過去の値の関数として与えられる値を予測値として差し引いた残差を用いる。このような信号処理は特定の異常事象に着目したものではないことから、多くの信号に対して一律的に適用可能なものである。

【0073】また、監視処理部3では、監視指標毎に初めに異常徴候が検出されたときの変化の方向を徴候として保存する。すなわち、一度「増加」と判定された後、「変化なし」あるいは「減少」に変わったとしても初めの徴候である「増加」をその徴候として後の診断に用いる。このようにして、監視処理部3は各監視指標の徴候判定結果の集合である徴候パターンを出力する。

【0074】異常伝播経路同定部4は、定性モデルデータベース6に登録された各監視指標間の影響伝播特性を符号付き有向グラフで表現した定性モデルと、観測された徴候パターンとを照合し、異常徴候の影響伝播経路を同定する。この経路の起点に位置する監視指標が最初に変化を示したものととして同定され、当該指標の算出に用いたプロセス信号の観測されたプラントの系統あるいはサブシステムが異常源と判断される。なお、変化の起点となった監視指標の同定までを異常源同定部の機能とし、図2に示したように、異常源系統またはサブシステムを同定する機能は次に述べる異常原因同定部5に含まれるとしてもよい。

【0075】異常原因同定部5は、プラントの各系統あるいはサブシステム毎に作成されるとともに、因果表データベース7に登録されている複数の因果表の中から、異常伝播経路同定部4により異常源と同定された系統あるいはサブシステムに対する因果表を読み出し、監視処理部3で作成された徴候パターンとの照合を行う。照合においては例えば異常徴候に矛盾がなく、且つ徴候の一致する監視指標の数が多い想定原因を現在の異常原因の候補として同定する。このとき、計画的な操作によって観測される徴候パターンを因果表に含めておくことにより、操作の行われたことを識別することができる。

【0076】以下、図1において破線で囲んだ監視処理部3、異常伝播経路同定部4、異常原因同定部5、および定性モデルデータベース6と因果表データベース7の部分の監視診断部8ということにする。また、監視診断部8から監視処理部3を除いた部分を診断処理部9という。

【0077】制御部1は、異常伝播経路同定部4の診断結果を出力表示部10に送るとともに、異常原因同定部5において原因候補が同定された場合、その結果も出力表示部10に送る。異常原因同定部5において該当する想定原因が同定されなかった場合は、想定外の異常が発生したものと判断し、データベース管理部11に現在の徴候パターンを送る。

【0078】データベース管理部11では、制御部1より徴候パターンが送られた場合、未登録のパターンとして因果表データベース7に追加登録する。このようにして学習された徴候パターンに対しては、後刻原因が判明した時点で対話処理部12により事象名などの必要な情報が追加される。

【0079】出力表示部10は、制御部1より送られる種々の情報を分かり易い形式で表示する。

【0080】以下、定性モデルに基づく異常伝播経路同定、因果表に基づく異常原因同定、および出力表示部10の特徴についてさらに詳細を述べる。

【0081】まず、前記定性モデルに基づく異常伝播経路同定において従来方法の課題を解決するために本実施例が提供する手段の特徴について図面を用いて詳細に説明する。具体例における監視指標名は、簡略化するためプロセス信号名そのものを用いている。

【0082】始めに、図3に基づいて定性モデルへのフィードバック特性の導入について説明する。例えば、沸騰水型原子炉の圧力制御系では、主蒸気の圧力が一定になるように加減弁の開度を制御系が調節している。原子炉圧力が減少すると主蒸気圧力も減少するので、制御系は加減弁の開度を絞って圧力を上げようとする。したがって、これらの観測信号の間には、図中に実線の有向線分で表現した「助長」の関係が存在することになる。

【0083】ところが、図3に示すように、原子炉圧力が下り勾配で表現した通り、減少したとしても、過渡変化の速度が遅い場合には制御系の応答の方が速くなり、結果として主蒸気圧力には一印で表現した通り変化が見えず、従来の符号付き有向グラフの方法では図中に破線の矢印の有向線分で表現したように過渡変化の伝達経路がその前後で切れてしまう。

【0084】そこで、本実施例では、加減弁の開度が増加あるいは減少することによって主蒸気圧力を一定に保つというフィードバック特性を表現した定性モデルを導入することにより、見かけ上変化が現れない場合でも正しく伝播経路を同定することができる。

【0085】次に、図4を用いて監視指標間の影響伝播特性への時間遅れの導入について説明する。図4に示したように、監視処理部3において監視指標の挙動から「増加」、「減少」、「変化なし」といった変化の徴候を検出する時には、例えば通常時に観測される監視指標の最大振幅の2倍を正常範囲と定めることにより、上下限閾値が設定されているが、異常によって生じた過渡突

化の程度が小さい場合には、信号Cの例のように通常の変動に隠れて正確に検出されないことがある。

【0086】そこで、本実施例では、監視指標間の因果関係に伝達遅れを導入し、原因側の監視指標の変化が検出されていて且つ結果側の監視指標に変化が検出されていない場合、原因側の監視指標が変化してから伝達遅れ時間だけ後の限定した範囲の結果側の監視指標の変化を正常範囲についても限定した上で調べることにより、精度よく検出することができる。これにより、過渡変化の程度が小さい場合でも、正しく経路を推定できるようになる。

【0087】また、同様に図4に示すように、同定された影響伝播経路がループ状になる場合でも、各監視指標の異常検出時刻を基にループの起点を同定するとともに、監視指標間に複数の伝播経路が成立し得る場合にも、各監視指標の異常徴候が検出された時刻と、導入した時間遅れを照合して真の伝播経路を同定することができる。

【0088】さらに、図5に基づいてプラントの保護シーケンス作動後の診断方法について説明する。従来の符号付き有向グラフに基づく診断方法は、正常な運転状態のフェーズIから異常の徴候が検出されたフェーズIIにかけてのプラント信号間の影響伝播特性を基に、異常による観測信号の初期変化から過渡変化の発生した信号を推定するものである。したがって、異常が進展して機器や系統の保護シーケンスが作動し、ポンプがトリップしたり、プラントがスクラムしたことによってそれまでとは異なる影響伝播特性を示すフェーズIIIの段階に移った後の状態を診断することは困難であった。

【0089】そこで、本実施例では、図5に示すように保護シーケンスの動作を知らせるデジタル信号を取り込むことにより、例えばポンプがトリップすると、それを起点として信号の変化を予測し、プラントの応答が正常か否かを診断することができる。

【0090】以下、図6に示すフローチャート図を用いて異常伝播経路同定部4の動作を説明する。

【0091】監視処理部3で信号変化の徴候が検知されると、異常伝播経路同定部4が起動する。まず、監視処理部3で抽出された観測信号の増加・減少を入力し、個々の信号について以下のような検査を行う。着目している信号が増加または減少している場合には、定性モデルデータベース6に記述された通常の伝達モデル（増減の伝わり方と時間遅れ）を参照し、原因側の信号の変化がモデルと合致していれば両信号間に変化が伝わったとして伝達経路を保存し、合致しなかった場合には起点の信号とみなす。起点の信号が保護シーケンスの動作を表すものであればシーケンス動作確認として、通常のプロセス信号であれば変化の起点としてその上流の機器を異常箇所として保存する。着目している信号に変化がなかった場合には、フィードバックモデルを参照して、原因側

の信号の動きがモデルと合致していれば、フィードバックループを伝達経路として保存し、合致しなければ、あるいはフィードバックループが存在しなければ、着目している信号は事象に無関係として無視する。

【0092】以上の処理を全ての信号に施すことにより、異常の発生箇所とその影響が伝わった経路の同定、または保護シーケンス動作とその応答の確認することができる。

【0093】次に、因果表に基づく異常原因同定について説明する。図1および図2を用いて説明した第1の実施例では、異常変化の生じた系統あるいはサブシステムを、異常変化の起点と同定された監視指標から求め、系統またはサブシステム別に与えられた因果表と観測された異常徴候パターンを照合することにより異常原因を同定している。

【0094】これに対して、第2の実施例の監視診断部の構成、監視指標の因果表をそれぞれ図7（A）、

（B）に、その処理の流れを図8にそれぞれ示す。なお、前記第1の実施例と同一または対応する部分には同一の符号を用いて説明する。以下の実施例でも同様である。

【0095】図7に示すように、異常伝播経路同定部4では、異常変化の起点となった監視指標が同定されていることから、各監視指標毎に当該指標に最初に影響が現れることが想定される種々の異常原因に対して徴候パターンを与えた因果表をデータベース7aに登録しておき、異常原因同定部5においては該当する監視指標別因果表に基づく原因同定を行うようにすることも可能である。

【0096】このように第2の実施例によれば、徴候パターンとの照合の対象となる因果表を系統あるいはサブシステム単位から監視指標単位に限定することにより、計算機による診断処理時間の短縮、実行時の所要メモリの縮小、診断精度の向上が期待される。

【0097】本発明に係るプラント監視診断装置の第3の実施例における監視診断部の構成、サブシステムの因果表をそれぞれ図9（A）、（B）に、また同じ監視診断部の処理の流れを図10にそれぞれ示す。サブシステム因果表データベース7bには、プラントの系統あるいはサブシステム毎に当該系統あるいはサブシステムが異常源となることが想定される種々の原因に対して徴候パターンを登録するばかりでなく、他の系統あるいはサブシステムで生じた異常の影響が伝播することが想定される場合にはこれを含めて登録するとともに、上流側の原因として他の系統あるいはサブシステムの異常原因を併せて登録しておく。

【0098】異常原因同定部5では、監視条件として与えられている各監視指標とその対象としている系統またはサブシステムとの関係を用いて、異常徴候を示している監視指標から異常源系統またはサブシステムの候補群

{S i} を求める。

【0099】次に、監視処理部3で作成された異常徴候パターンを系統あるいはサブシステム毎に作成された因果表と照合することにより、各異常源候補S i毎に異常原因候補{A j i}と、それぞれの候補に対して図9

(B)のように与えられた上流側要因{F j i}を同定し、全ての異常源候補について求めた異常原因候補を集めた確認対象原因リストL a、上両側要因を集めたリストL eを求める。

【0100】そして、確認対象原因リストL aに含まれる異常原因候補の中から、それ自身がL eに含まれ、且つその上流側要因がL aに含まれていないものだけを最終的な異常原因候補と判定する。但し、異常源候補が1つだけの場合には確認対象のL aがそのまま異常原因候補のリストとなる。

【0101】これにより、本実施例では異常徴候が観測されている他の系統あるいはサブシステムの影響を受けていない系統あるいはサブシステムを異常源と判定し、当該系統あるいはサブシステムに対する因果表を基に同定された異常原因候補の中で他の系統あるいはサブシステムの異常徴候を説明し得るものを現在の異常原因として同定することができる。

【0102】また、図11に示す例では、第2サブシステムおよび第3サブシステムの異常徴候はそれぞれ原因2-1と原因3-2で説明されるが、何れの原因も上流側の原因1-2によって説明されることから、第1サブシステムが異常源として判定される。さらに、第1サブシステムの因果表による診断結果では、異常原因候補として1-1と1-2の2つが同定されているが、原因1\*

$$\int_{\tau}^{r+t_0} f(t-\tau) \cdot x(t) \cdot dt / \int_0^{t_0} f^2(t) \cdot dt$$

を算出する。そして遅れ時間 $\tau$ の関数としての上記評価関数の最大値を類似度とするものである。上式において事例データを同じ方法で期間 $t_0$ だけ取り出して評価したものは両データの相互相関関数となり、これを評価関数として用いることも1つの方法である。

【0106】因果表による原因同定の場合と同様、事例データベースに計画的操作が行われたときのデータを含めておくことにより、操作が行われたことを識別することができる。

【0107】このように、計画的操作が行われている間も通常と同じ監視を継続し、操作に伴うプロセス信号の変化を異常と見なしてその原因を判定するようにすることは、プラント監視診断装置の機能と動作の健全性を確認する手段として有効なものと考えることができる。

【0108】しかしながら、計画的操作による影響はあくまでも異常とは見なさず、正確に識別すべきという考え方もある。このような考えに添って、本発明に係るプラント監視診断装置の第5の実施例の場合の監視処理部

\*-1は他のサブシステムの異常徴候を説明できないことから、最終的に異常原因1-2が同定されることとなる。

【0103】図12は本発明に係るプラント監視診断装置の第4の実施例における監視診断部の構成を示すブロック図、図13はその監視診断処理の流れを示すフローチャート図である。本実施例においては、図1、図2で示した第1の実施例、図7、図8で示した第2の実施例の場合と同様に、異常伝播経路同定部4では監視処理部3で作成された各監視指標の異常徴候パターンを定性モデルと照合することにより、変化の起点となった監視指標とその影響伝播経路を同定する。

【0104】事例データ抽出部13は、事例データベース14に登録されている異常発生時のプロセス信号の時系列データの中から、変化の起点と同定された監視指標が同じ事例データを検索し、監視条件として与えられた信号処理方式に従い、各該当事例についてプロセス信号から当該監視指標の時系列データを算出する。変化の起点として観測された監視指標の時系列データの波形と前記抽出された事例データの波形の類似度を比較照合部15において評価し、一定の値以上の高い類似度を示す事例の異常原因を現在の異常原因と診断する。

【0105】類似度の評価方法を図14を用いて説明する。変化の起点と同定された監視指標の現在のデータと1事例データの波形が同図に示すようであったとき、現在のデータで異常が検出された時刻前後の一定期間 $t_0$ を取り出した時系列データを基本関数 $f(t)$ とし、事例データ $x(t)$ との間で次の評価関数

【数3】

の構成を図15に示す。第5の実施例では、図1、図7、図9、あるいは図12に示した各実施例の監視診断部8の監視処理部3の前段に操作識別部16が設けられ、図15の第1監視処理手段3aは前記各図に示した実施例の監視処理部3と同一のものである。

【0109】操作情報データベース17には、図16に示すように、計画的操作毎にその名称、操作の開始を判定する条件、終了を判定する条件、最長操作期間、操作iにより最初に変化するアナログ監視指標を $X_i$ 、操作の影響を受けて変化するアナログ監視指標{Y j i}、新たな指標である相対変化率{Y j i/X i}を、 $X_i$ を入力変数、Y j iを出力変数と見なしたときの伝達ゲインと考え、その正常ゲインの範囲などが登録されている。

【0110】次に、図17に示す処理の流れに従って前記第5の実施例における監視処理部3a、3bの動作を説明する。

【0111】図15に示す操作識別部16は、開始および終了判定に必要な指標を算出してそれぞれの判定条件



を確認し、操作 i の開始が確認された時点から最長操作期間だけ、あるいは終了条件が成立するまでの間、操作の影響によって変化する監視指標である  $X_i$  および  $\{Y_{ji}\}$  を監視バイパス対象指標として異常検出の対象から除外する指令を第 1 監視処理手段 3 a に送る一方、第 2 監視処理手段 3 b に対して実行指令を送る。第 2 監視処理手段 3 b では、図 18 に示すように前記相対変化率を新たな監視指標として算出し、正常ゲインとして与えられた上限閾値  $H_i$ 、下限閾値  $L_i$  と比較することにより監視を行う。

【0112】以上のような監視処理部の構成を採ることにより、計画的な操作が行われている間も、操作の影響を受けない監視指標に対しては通常通りの第 1 監視処理手段 3 a による監視処理を継続しながら、操作によって変化を生じる監視指標については、その変化の仕方が正常か否かを第 2 監視処理手段 3 b により判定することができる。

【0113】図 19 は本発明に係るプラント監視診断装置の第 6 の実施例の構成を示すブロック図である。同図において、第 2 診断手段 8 b は図 1、図 7、図 9、あるいは図 12 に示した監視診断部 8 と同様の機能を有し、一律的な監視処理によって得られる異常徴候パターンを想定可能な異常原因に対して例えば因果表の形式で与えられた徴候パターンと照合することにより診断を行う。一方、第 1 診断手段 8 a は特定の異常のみに反応するプロセス信号から当該異常に固有の監視指標を算出して正常範囲を示す閾値と比較することにより、当該異常の発生を検出する。例えば、流量信号に現れる特定周期の振動成分の振幅を監視することにより不安定流動現象を検出するといった場合がこれに該当する。

【0114】また、図 19 の構成において、図 15 に示した操作情報データベース 17 を含む操作識別部 16 と、第 2 監視処理手段 3 b を全て第 1 診断手段 8 a に含め、第 1 監視処理手段 3 a を第 2 診断手段 8 b に含め、操作識別部 16 の有する実行制御機能を制御部 1 に含めることにより、図 15 の構成の監視処理部の有する機能を実現することが可能である。

【0115】次に、本発明のプラント監視診断装置の出力表示方法について説明する。

【0116】図 20 は定性モデルによる異常の影響伝播経路同定結果の表示の一例を示すものであり、各監視指標には簡略化するためプロセス信号名そのものを用いてある。伝達特性のゲインの正負とフィードバック効果の種類のわかる実線、破線、一点鎖線などで表現した有向線分でプロセス信号の名称を結び、信号間の因果関係を符号付き有向グラフで表現したのと同等の情報を表わしている。

【0117】これに観測された信号の定性的な挙動を「増加」、「減少」、「変化なし」に分類した結果を信号名称と併せてそれぞれ矢印上り勾配、下り勾配、一

表示し、過渡変化の起点の信号名称を強調表示するとともに、変化が伝わったと同定された経路に相当する有向線分の色および/または濃淡を変えることにより、過渡変化の発生箇所と波及経路が容易に認識できるように表示されている。

【0118】定性モデルによる診断結果の異なる表示例を図 21 に示す。この場合、プラントの系統図の中にプロセス信号の観測点と信号名称が明示され、観測された信号の定性的な挙動を「増加」、「減少」、「変化なし」に分類した結果が信号名称と併せて表示されている。過渡変化の起点の信号とその上流の機器を強調表示するとともに、変化が伝わったと同定された信号間に存在する、制御回路、配管、弁、ポンプなどの色を変えることにより、過渡変化の発生箇所と波及経路が容易に認識できるように表示されている。

【0119】因果表に基づく診断結果を表示する場合には、監視指標毎の異常徴候の関連を把握し易いように考慮することが必要である。図 22 に示す例は、観測される徴候パターンと矛盾せず、且つ徴候の一致する監視指標の数の多い原因を可能性の高い原因候補として上位に並べ換え、さらに監視指標についても異常な変化の発生時刻が早い順に並べ換えて表示したものである。

【0120】また、図 23 は因果表作成時に行われるイベントツリー解析の結果に監視指標の変化を含めてツリー状に表現することで、各監視指標の徴候の相違が診断結果に与える影響を明示した例を示すものである。

【0121】図 24 は本発明のプラント監視診断装置の第 7 の実施例の構成を示すブロック図である。同図の操作識別部 16 と操作情報データベース 17 は図 15 および図 16 に示したものと同じである。また、図 24 の第 1 監視処理部 18 a は図 1、図 7、図 9、および図 12 に示した各実施例の監視診断部 8 の監視処理部 3 と同じであり、一律的な処理による監視を行う部分である。

【0122】図 24 の異常伝播経路同定部 4 および定性モデルデータベース 6 は、図 1、図 7、および図 12 に示した各実施例の監視診断部 8 の異常伝播経路同定部 4 および定性モデルデータベース 6 と同じである。図 24 の第 1 異常原因同定部 5 a および因果表データベース 7 は、図 1 および図 7 に示した各実施例の監視診断部 8 の異常原因同定部 5 および因果表データベース 7 と同じである。

【0123】また、図 24 の第 2 異常原因同定部 5 b は、図 12 に示した実施例の事例データ抽出部 13 と比較照合部 15 を合わせた機能を有し、事例データベース 14 は両図とも同じものである。さらに、図 24 の第 2 監視処理部 18 b は特定の異常に反応する固有の監視指標を算出して当該異常の発生を検出する部分であり、図 19 の第 1 診断手段 8 a と同じものである。したがって、この第 2 監視処理部 18 b には、図 19 の説明でも述べた通り、図 15 の第 2 監視処理手段 3 b の機能を含



めたものとして行うことができる。

【0124】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、監視指標に異常徴候が検出された場合、監視指標間の影響伝播特性を記述したネットワークモデルによって変化の起点となった監視指標とその影響伝播経路が同定されることから、全ての異常徴候が1つの起点により説明可能か否かを容易に把握することができる。

【0125】また、起点の監視指標の算出に用いたプロセス信号が得られたプラントの系統あるいはサブシステムが異常源であることが明かとなり、異常原因同定において観測される異常徴候パターンとの照合に用いる因果表の規模を系統あるいはサブシステム単位に小さく限定することが可能となる。

【0126】これにより、短時間の中にプラントの広い範囲のプロセス信号に影響が伝播するような異常が発生した場合にも、それが想定可能な異常であればその原因まで診断し、想定外の異常であっても少なくとも異常源と影響伝播経路を提示することができる。

【0127】このように、大規模プラントで生じる異常を計画的操作の影響と識別しながら徴候段階で検出し診断することが可能となる。また、異常の影響が短時間の内に系統間を伝播し広範なプロセス信号に変化が現れる場合にも速やかに異常源を同定することが可能となる。何れの場合にも、想定可能あるいは経験済みの異常であれば、その原因あるいは機器単位の異常原因同定が可能であり、想定外の異常の場合にも少なくとも信号単位での異常源の同定が可能となる。したがって、異常時の状況把握が容易となり、徴候段階での早期対応と迅速な正常復帰が期待される。

【0128】請求項2記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、請求項1記載のプラント監視診断装置によって想定外の異常と診断された場合に、観測された徴候パターンを直ちに因果表に登録することにより想定事象の1つとして学習し、以後の診断に役立つ知識として提供することができる。

【0129】請求項3、4記載の本発明のプラント監視診断装置および方法によれば、請求項1記載のプラント監視診断装置と同じ作用を得るだけでなく、異常原因同定に用いる因果表の規模が、変化の起点と同定された監視指標に最初に異常の影響が現れることが想定される異常原因のみに限定されることから、診断処理に要する時間を更に短縮することができる。

【0130】請求項5記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、短時間の中にプラントの広い範囲のプロセス信号に影響が伝播するような異常が発生した場合に、照合対象とすべき系統やサブシステム単位の因果表は複数存在することになるが、各因果表に他の系統やサブシステムの異常を原因候補として含むことによって系

統やサブシステム単位の因果関係が把握できることになり、最も原因側に近い系統やサブシステムの因果表によって異常原因を診断することができる。

【0131】請求項6、7記載の本発明のプラント監視診断方法によれば、前記の因果表に基づく診断において同定された異常原因候補に関して、異常徴候が検出された監視指標を、検出時間順に並べ換えて表示する、あるいは直接的にイベントツリーの中に含めて表示する、ことにより同定の根拠となった各監視指標の異常徴候の関連把握を支援することができる。

【0132】請求項8、9記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、特定の異常に固有の監視指標に基づく第1診断手段を、多くのプロセス信号に一律的に適用可能な処理によって算出し得る監視指標の異常徴候パターンと因果表との照合に基づく第2診断手段と分離して設けたことにより、短絡的な診断が可能な場合の処理時間を短縮することができる。逆に、固有の監視指標の算出に長時間を要する場合には、このような分離を行うことにより一律的な監視指標を用いた診断処理時間への影響を排除することができる。

【0133】請求項10～13記載の本発明のプラント監視診断装置および方法によれば、定性モデルによって異常変化の起点と同定された監視指標についてのみ、事例データとの波形の比較照合を行うことにより、容易に類似事例を検索し異常原因の推定に資することができる。定性モデルに基づく診断を先に行うことにより、異常徴候を示す全ての監視指標についての波形照合の必要性を排除できる。

【0134】請求項14、15に記載の本発明のプラント監視診断装置および方法によれば、監視処理を行う前に計画的操作が行われたことを確認し、操作の影響を受ける可能性のある監視指標のみを異常検出の対象から除外することで、監視診断装置が不要な警報を出さないようにするとともに、その他の監視指標についての監視を継続することができる。

【0135】請求項16、17記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、計画的操作が行われる場合にも監視処理は実行し、操作に起因して監視指標に異常徴候が検出された場合には観測された徴候パターンを因果表の徴候パターンと照合することにより、あるいは定性モデルにより異常変化の起点と同定された監視指標の波形を事例データと照合することにより、操作の識別を行うことができる。これにより、計画的操作が行われる毎にプラント監視診断装置の動作が正常か否かを確認することができる。

【0136】請求項18記載の本発明のプラント監視診断方法によれば、請求項14、請求項15記載のプラント監視診断装置および方法において、監視対象から除外した監視指標の中、計画的操作によってプラントに与えられた外乱の大きさを評価し得るアナログ監視指標を入

力、その影響を受けて変化する各アナログ監視指標を出力と見なし、外乱発生期間中の入出力間の伝達ゲインを監視することであたかも能動的な外乱印加試験を行った場合のようにプラントの挙動の監視を行うことができる。

【0137】請求項19記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、定性モデルに導入した、フィードバック効果によって一定に保持され得る、と言う関係を考慮して監視指標の徴候パターンを照合することにより、伝播経路の途中にフィードバック効果の影響を受けて変化が観測されない監視指標があった場合にも伝播経路として同定することができる。

【0138】請求項20記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、定性モデルに基づく診断に必要な異常徴候を確認する範囲を、原因側の信号が変化した時刻から与えられた時間遅れだけ経過した時刻の前後の限定した時間帯に設定することにより、感度よく変化の徴候を検出することができる。

【0139】請求項21記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、定性モデルによって同定された異常の影響伝播経路がループ状になった場合にも各監視指標の異常検出時刻を基にループの起点を同定することができる。また、監視指標間に複数の伝播経路が成立し得る場合にも、各監視指標の異常徴候が検出された時刻と、伝播特性に与えられた時間遅れを照合して真の伝播経路を同定することができる。

【0140】請求項22記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、プラント異常時に備えて設けられた保護シーケンスの作動を起点にしてプロセス信号の応答を予測し、観測される挙動が予測された動きと一致するかどうかを逐次確認することにより、時々刻々変化するプラント状態をリアルタイムで監視することができる。

【0141】請求項23、24記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、フィードバック効果を含む符号付き有向グラフで表現した請求項20記載の定性モデル、あるいはプラント系統図の上に、異常徴候の検出された監視指標と同定された伝播経路を色を変えて示すことにより、各監視指標の異常徴候の関連が容易に把握できるように支援することができる。

【0142】請求項25記載の本発明のプラント監視診断装置によれば、請求項1～9または16記載のプラント監視診断装置および方法と同等の効果を異なる徴候パターン照合方式に基づく原因同定手段によって示すことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のプラント監視診断装置の第1の実施例の構成を示すブロック図。

【図2】第1の実施例の処理の流れを示すフローチャート図。

【図3】フィードバック特性を導入した定性モデルの効

果を示す図。

【図4】監視指標間の影響伝播特性に導入した時間遅れの効果を示す図。

【図5】定性モデルによるリアルタイム診断の例を示す図。

【図6】異常伝播経路同定処理の流れを示すフローチャート図。

【図7】(A)、(B)本発明に係るプラント監視診断装置の第2の実施例の監視診断部の構成を示すブロック図、監視指標の因果表を示す図。

【図8】第2の実施例の監視診断処理の流れを示すフローチャート図。

【図9】本発明のプラント監視診断装置の第3の実施例の監視診断部の構成を示すブロック図、サブシステムの因果表を示す図。

【図10】第3の実施例の監視診断処理の流れを示すフローチャート図。

【図11】第3の実施例における原因同定の方法を示す図。

【図12】本発明に係るプラント監視診断装置の第4の実施例の監視診断部の構成を示すブロック図。

【図13】第4の実施例の監視診断処理の流れを示すフローチャート図。

【図14】事例データとの比較照合方法を示す図。

【図15】本発明に係るプラント監視診断装置の第5の実施例の監視処理部の構成を示すブロック図。

【図16】操作情報データベースの内容を示す図。

【図17】第5の実施例の監視処理の流れを示すフローチャート図。

【図18】第5の実施例の第2監視処理手段の監視方法を示す図。

【図19】本発明に係るプラント監視診断装置の第6の実施例の構成を示すブロック図。

【図20】信号間のネットワークによる異常伝播経路の表示例を示す説明図。

【図21】プラント系統図による異常伝播経路の表示例を示す説明図。

【図22】因果表に基づく診断結果の表示例を示す説明図。

【図23】因果表に基づく診断結果の異なる表示例を示す説明図。

【図24】本発明に係るプラント監視診断装置の第7の実施例の構成を示すブロック図。

【符号の説明】

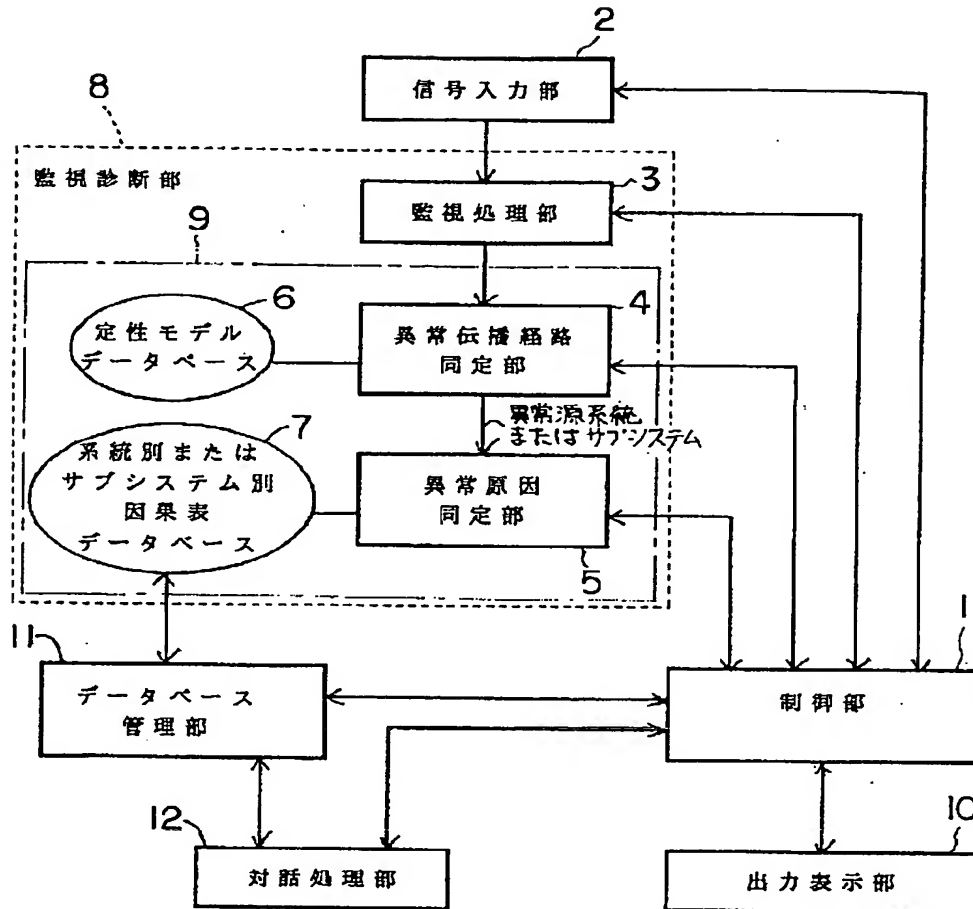
- 1 制御部
- 2 信号入力部
- 3 監視処理部
- 4 異常伝播経路同定部
- 5 異常原因同定部
- 6 定性モデルデータベース

- 7 因果表データベース  
 7a 監視指標別因果表データベース  
 7b サブシステム因果表データベース  
 8 監視診断部  
 8a 第1診断手段  
 8b 第2診断手段  
 9 診断処理部  
 10 出力表示部  
 11 データベース管理部

- \* 12 対話処理部  
 13 事例データ抽出部  
 14 事例データベース  
 15 比較照合部  
 16 操作識別部  
 17 操作情報データベース  
 18a 第1監視処理部  
 18b 第2監視処理部

\*

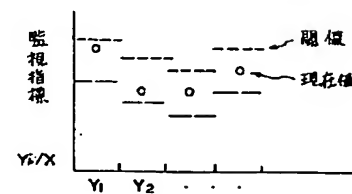
【図1】



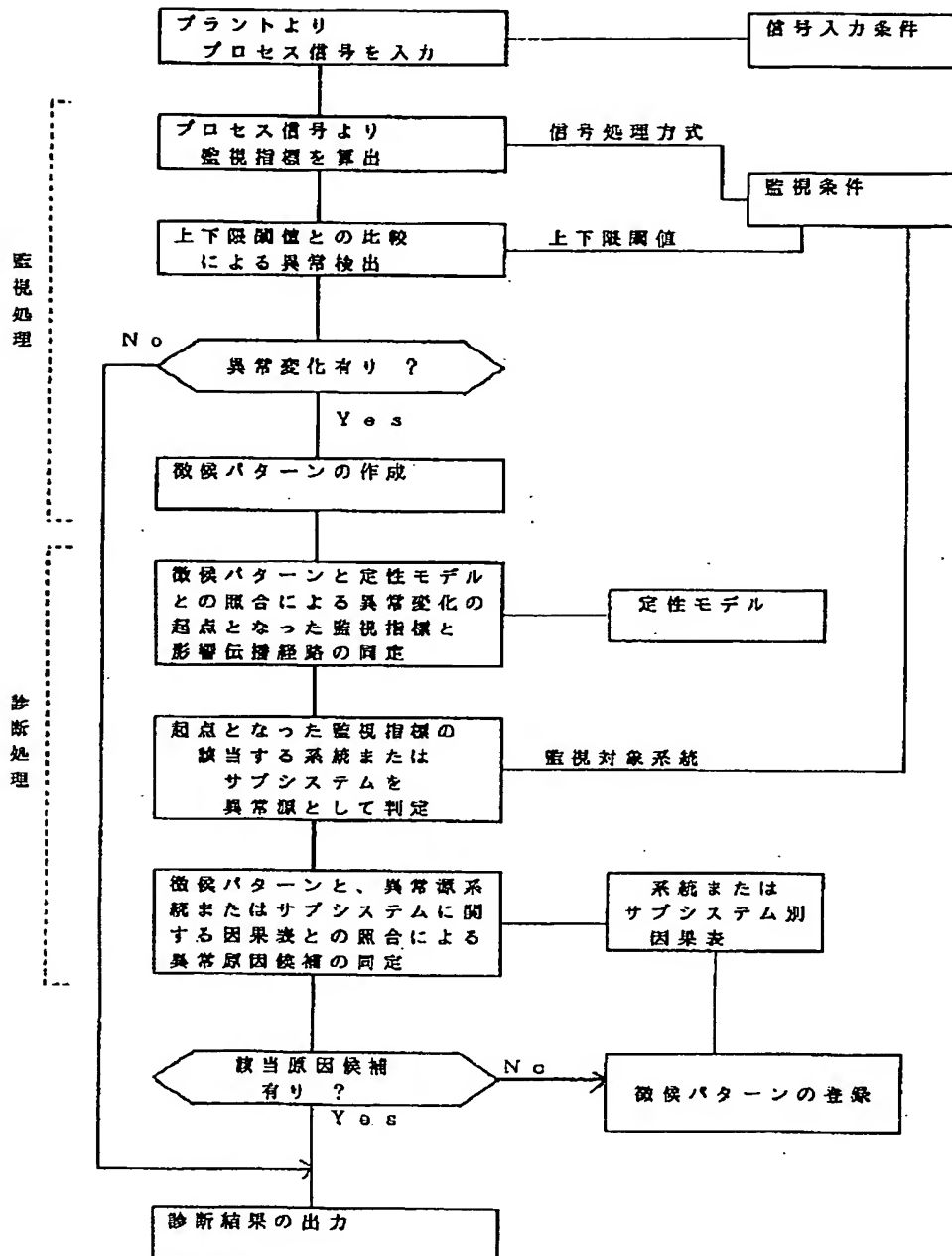
【図16】

| 操作名  | 開始判定条件                                      | 終了判定条件                                      | 期間    | 入力変数  | 出力変数                   | 正規化イン                  |
|------|---|---|-------|-------|------------------------|------------------------|
| 操作-1 | 指標 $H \geq \alpha_1$<br>指標 $1-2 < \alpha_2$ | 指標 $1-1 < \beta_1$<br>指標 $1-2 \geq \beta_2$ | $T_1$ | $X_1$ | $Y_{1-1}$<br>$Y_{1-2}$ | $L_{1-1}$<br>$L_{1-2}$ |
| .    | .   | .   | .     | .     | .                      | .                      |

【図18】

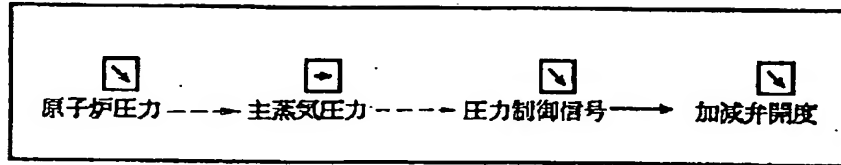


【図2】



【図3】

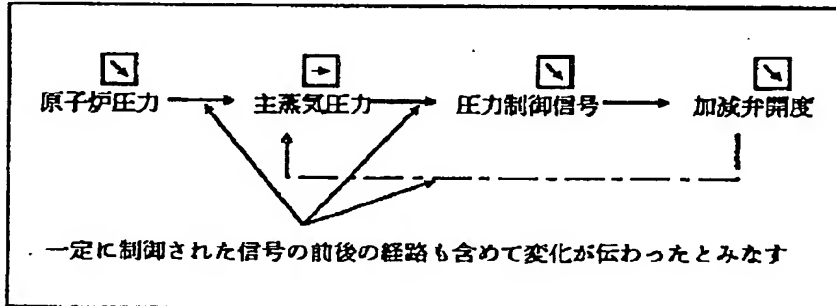
従来手法)



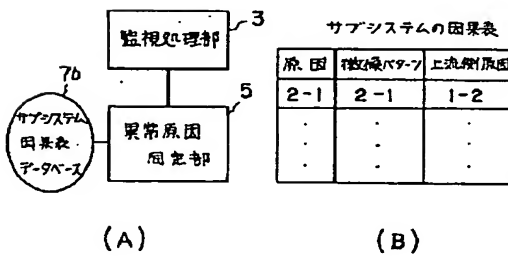
「フィードバックにより一定に制御される」という因果関係



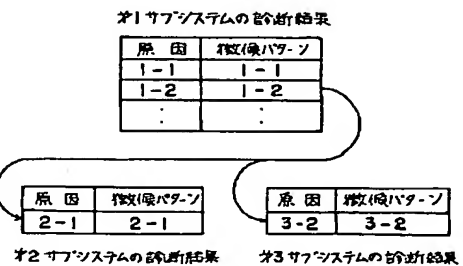
本実施例手法)



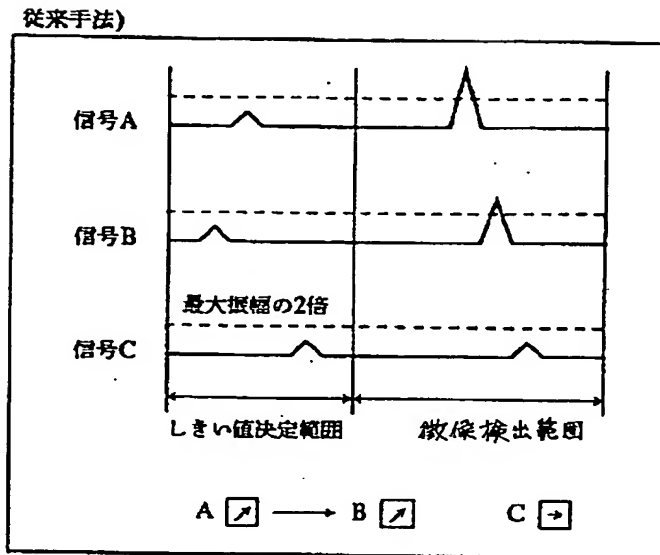
【図9】



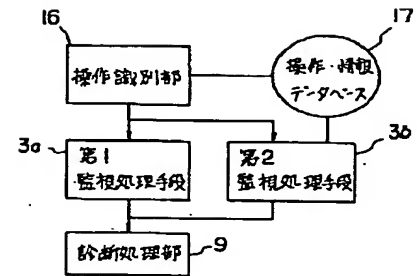
【図11】



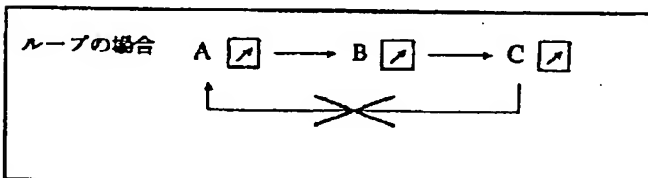
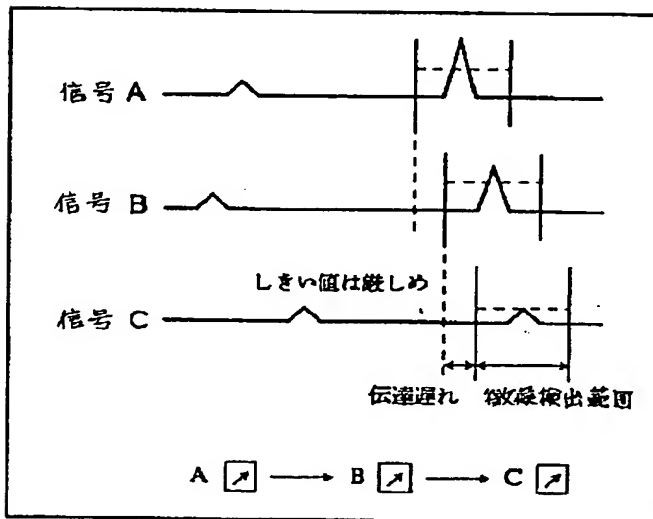
【図4】



【図15】



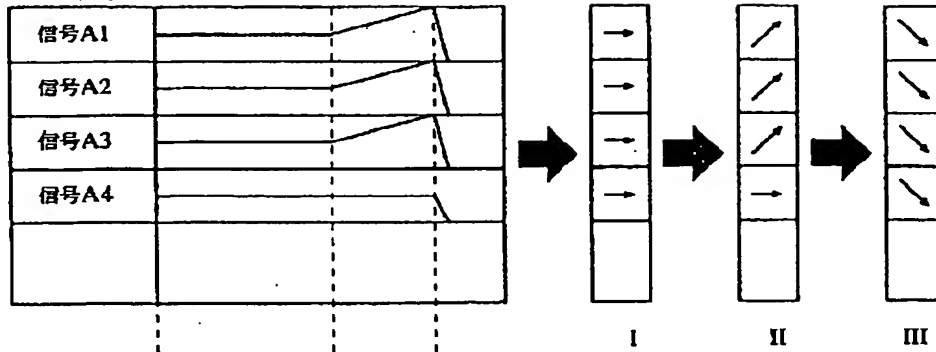
新手法)



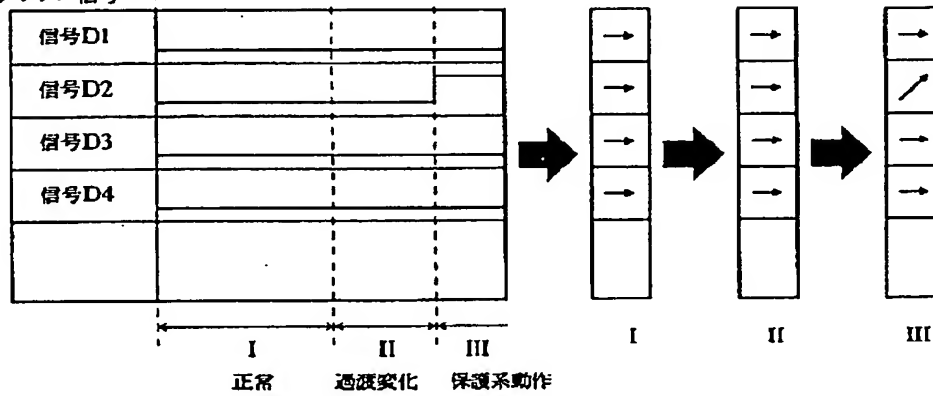


【図5】

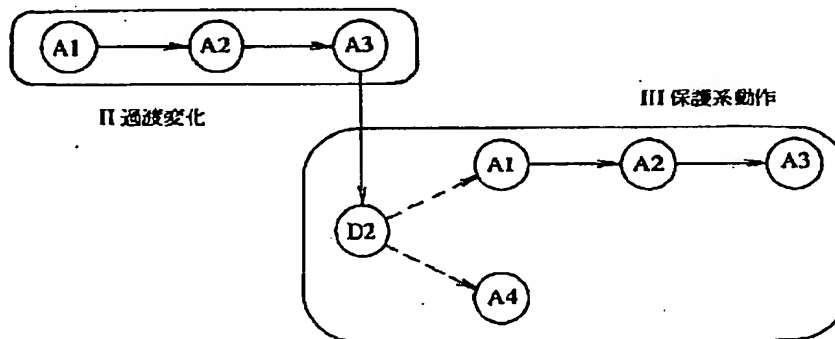
アナログ信号



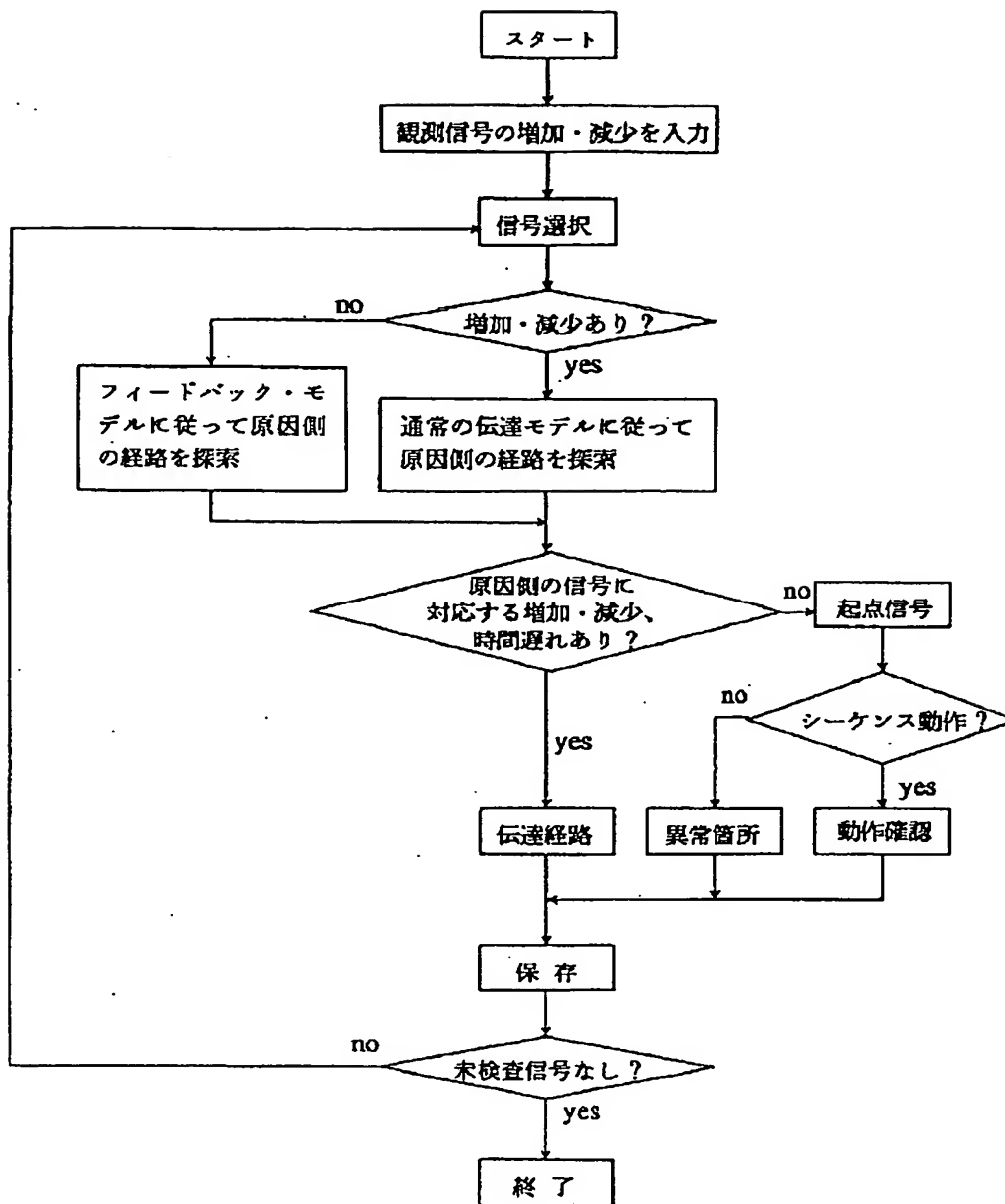
デジタル信号



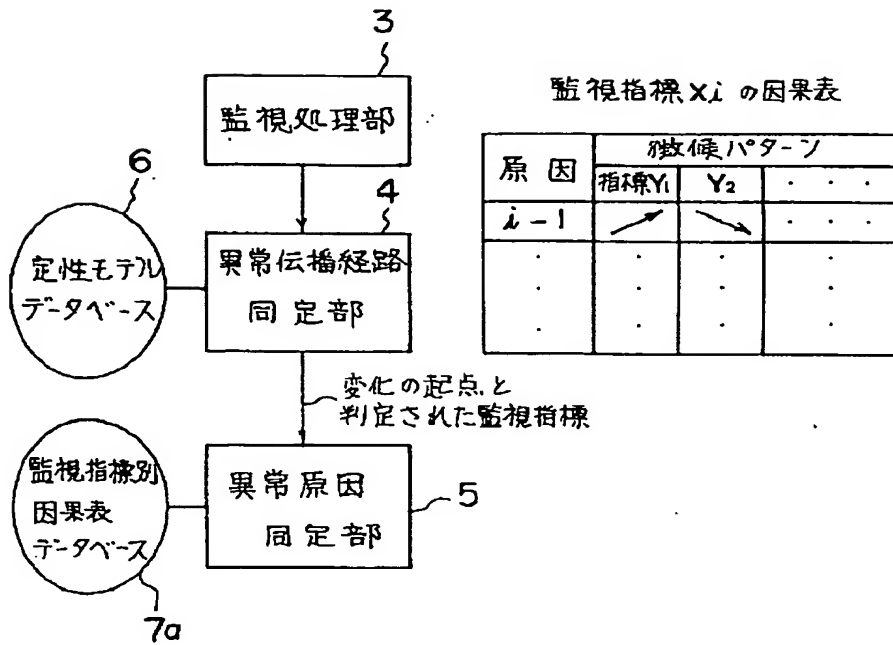
I 正常 II 過渡変化 III 保護系動作



【図6】



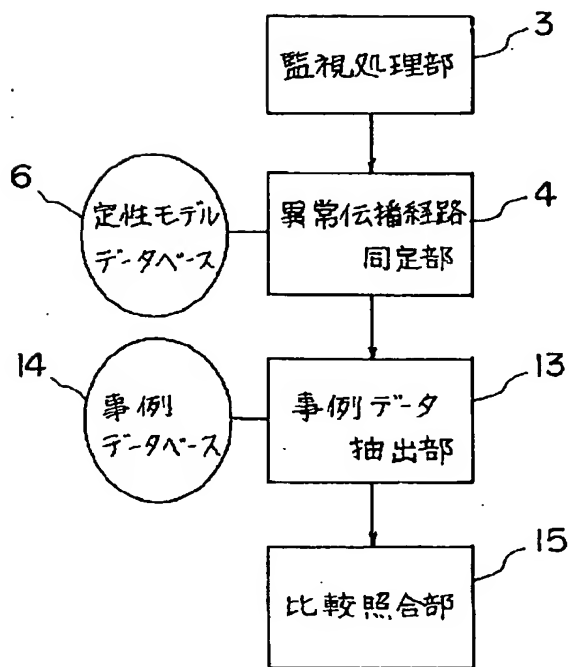
【図7】



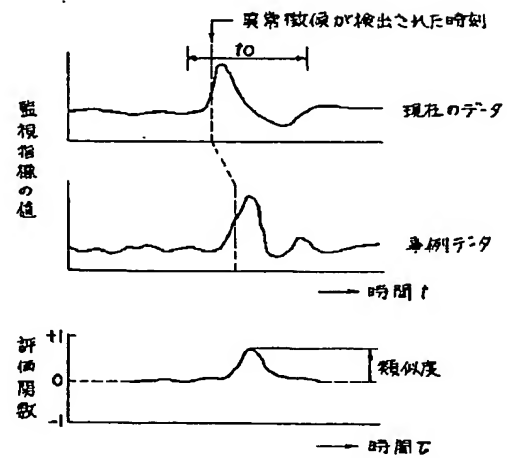
(A)

(B)

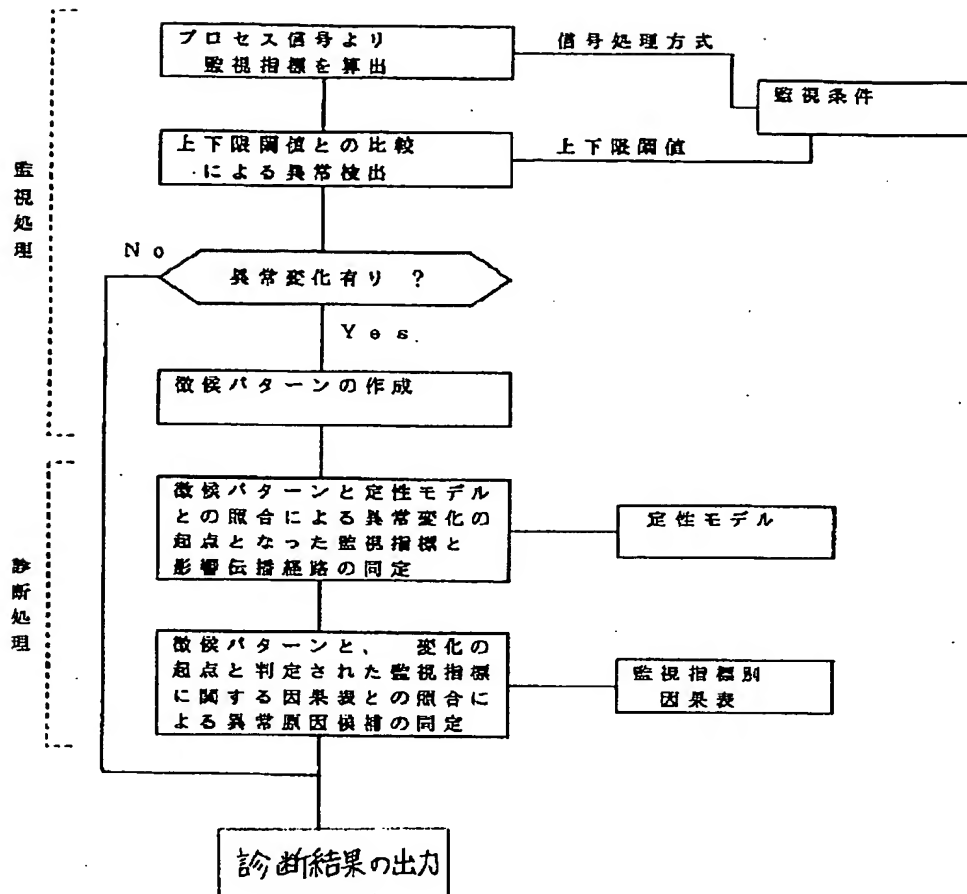
【図12】



【図14】



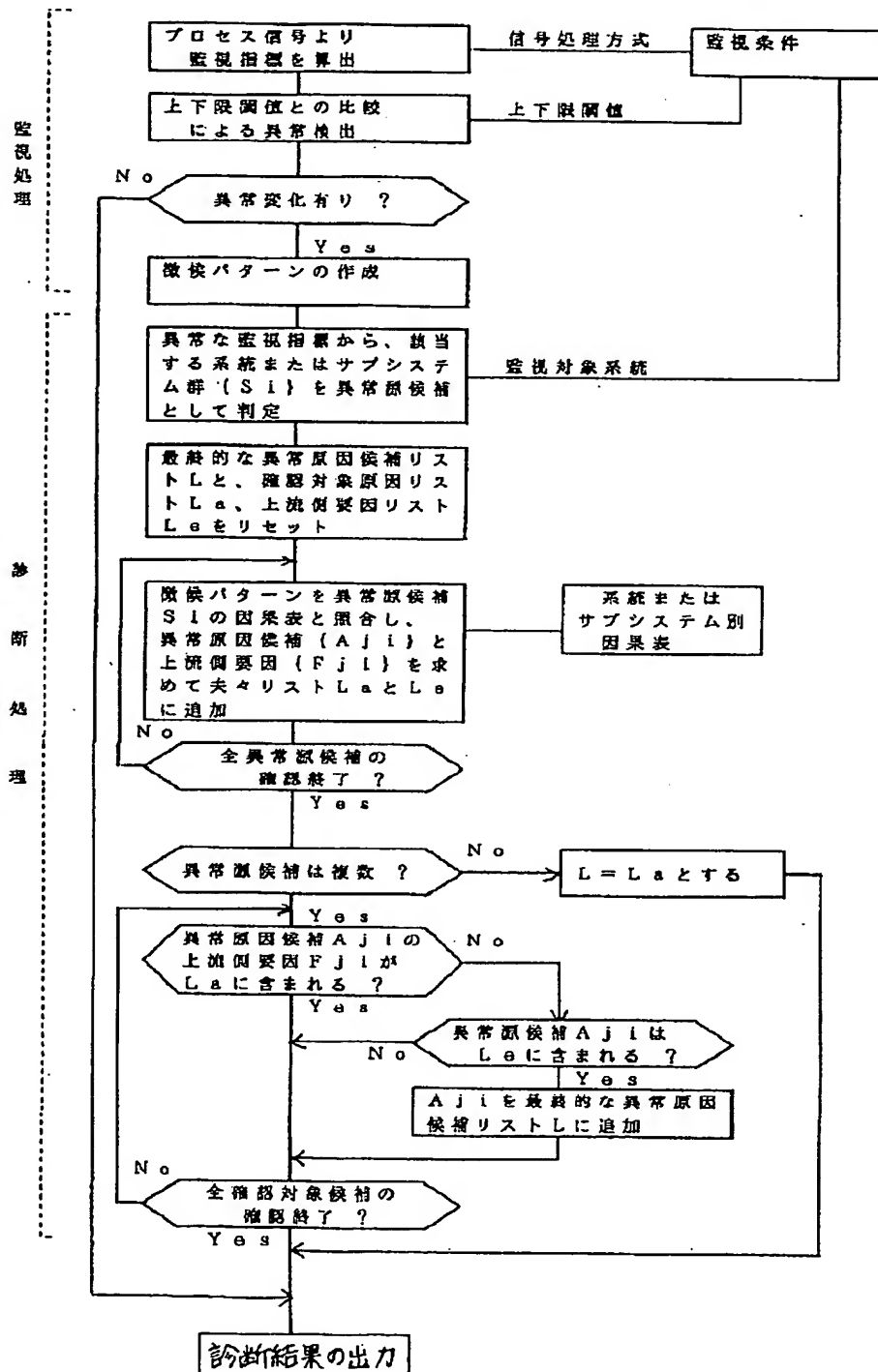
【図8】



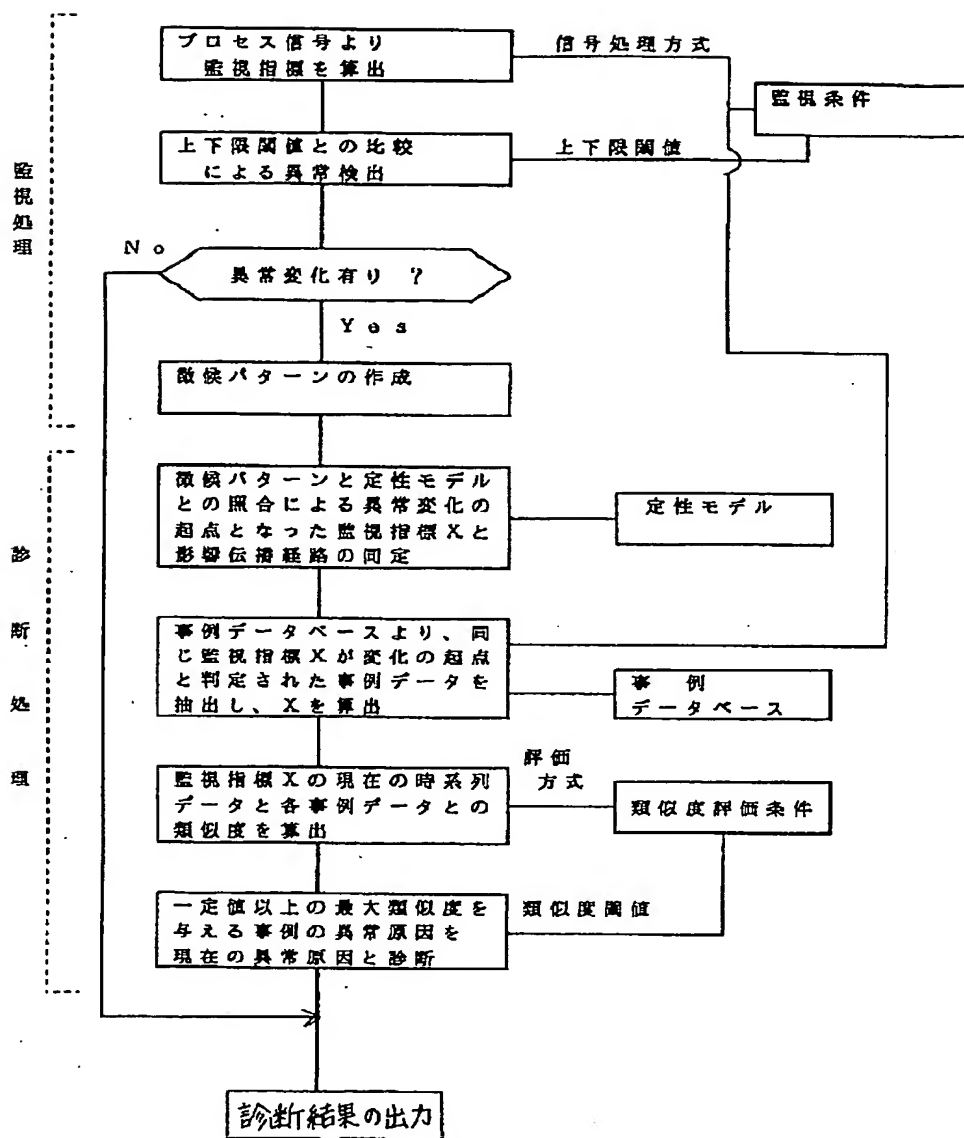
【図22】

|               | 監視指標-1 (発生時刻早い) |   |   |   |   | 監視指標-m (発生時刻遅い) |
|---------------|-----------------|---|---|---|---|-----------------|
| 原因候補-1 (可能性大) | ✓               | ✓ | ✓ | → | → | ✓               |
| ...           | ✓               | → | ✓ | → | → | →               |
| ...           | ✓               | → | ✓ | → | → | →               |
| ...           | ✓               | → | ✓ | → | → | →               |
| ...           | ✓               | → | ✓ | → | → | →               |
| ...           | ✓               | → | ✓ | → | → | →               |
| ...           | ✓               | → | ✓ | → | → | →               |
| ...           | ✓               | → | ✓ | → | → | →               |
| 原因候補-n (可能性小) | ✓               | ✓ | ✓ | → | → | →               |

〔図10〕

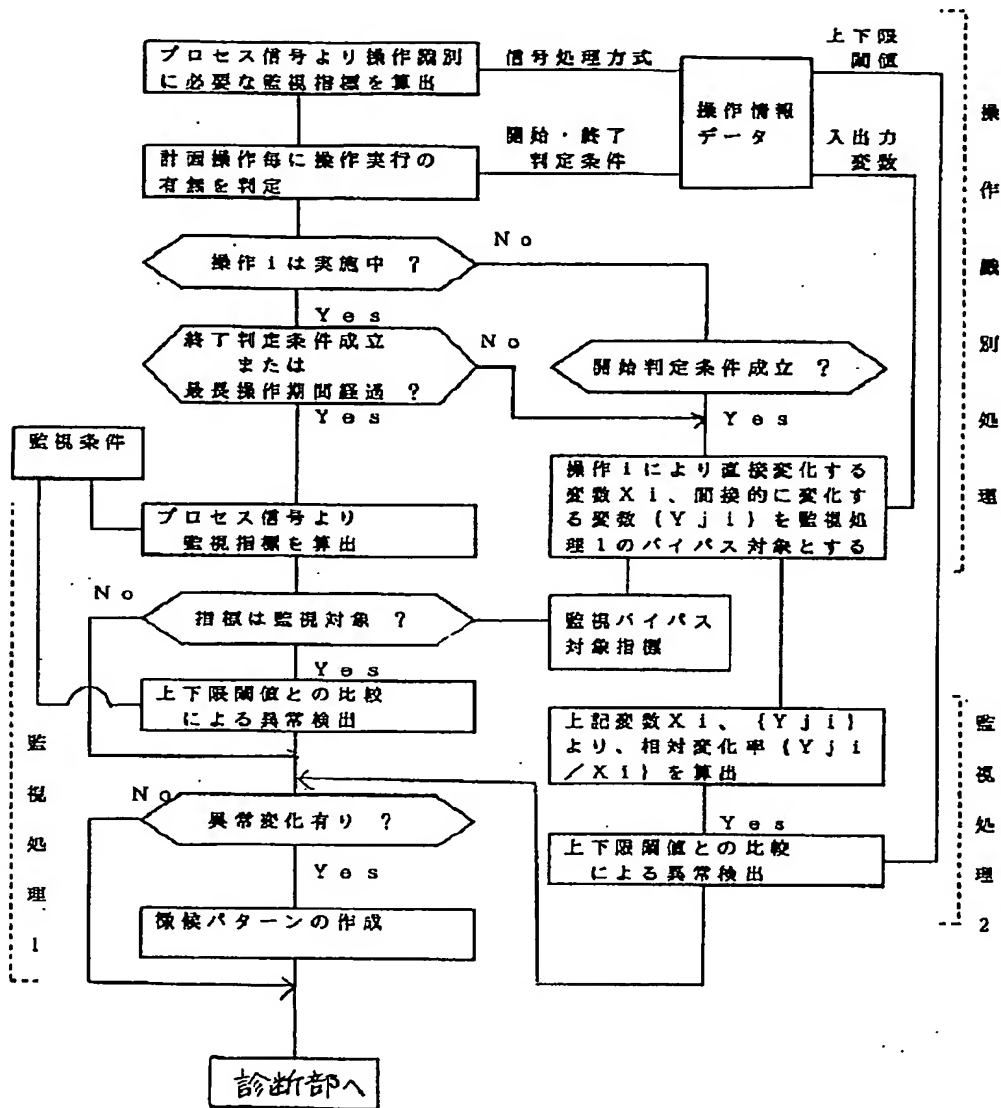


【図13】

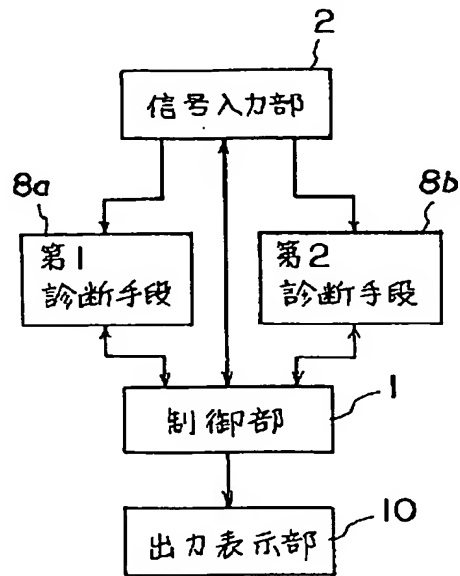




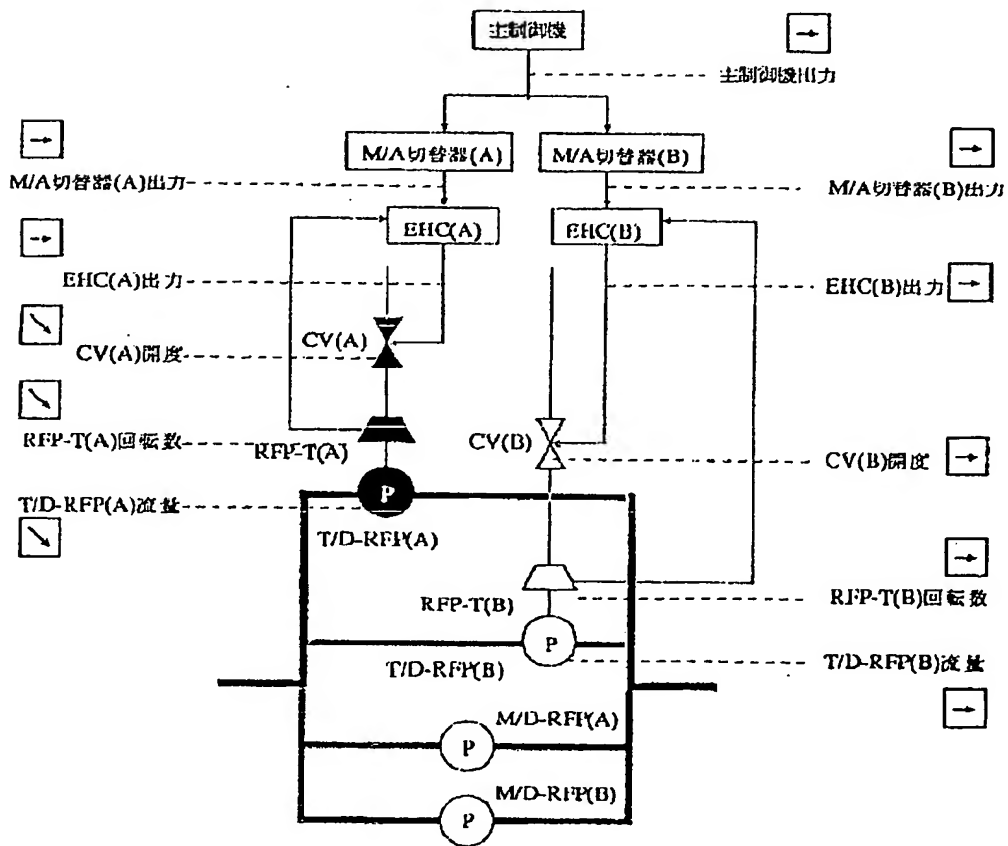
【図17】



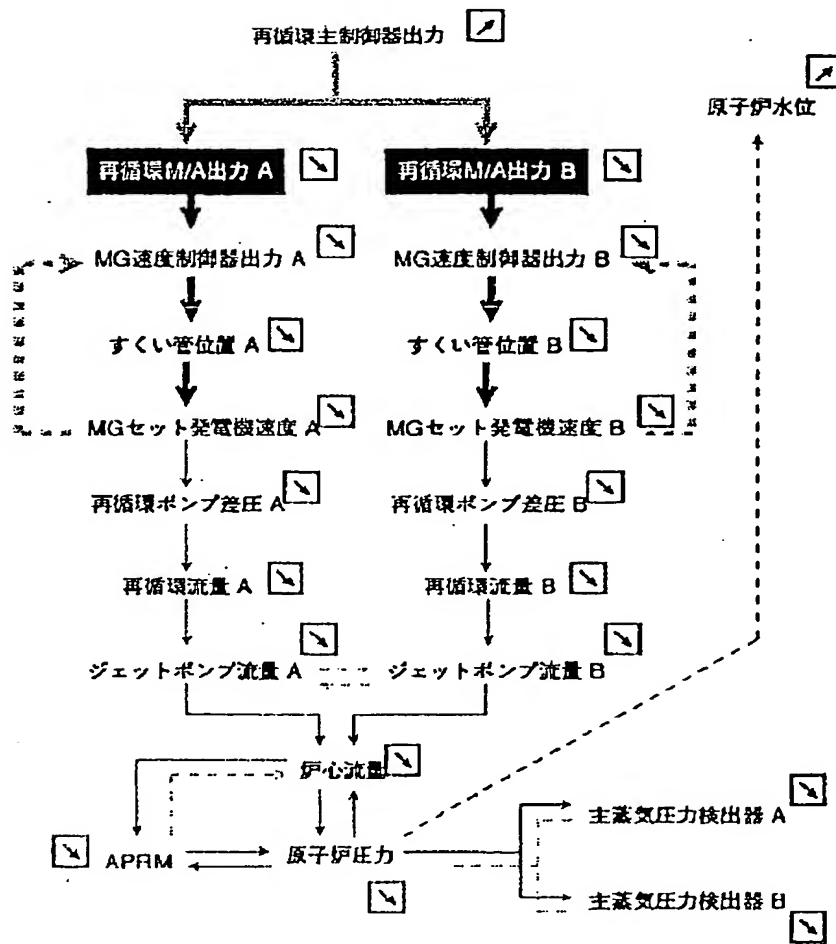
【図19】



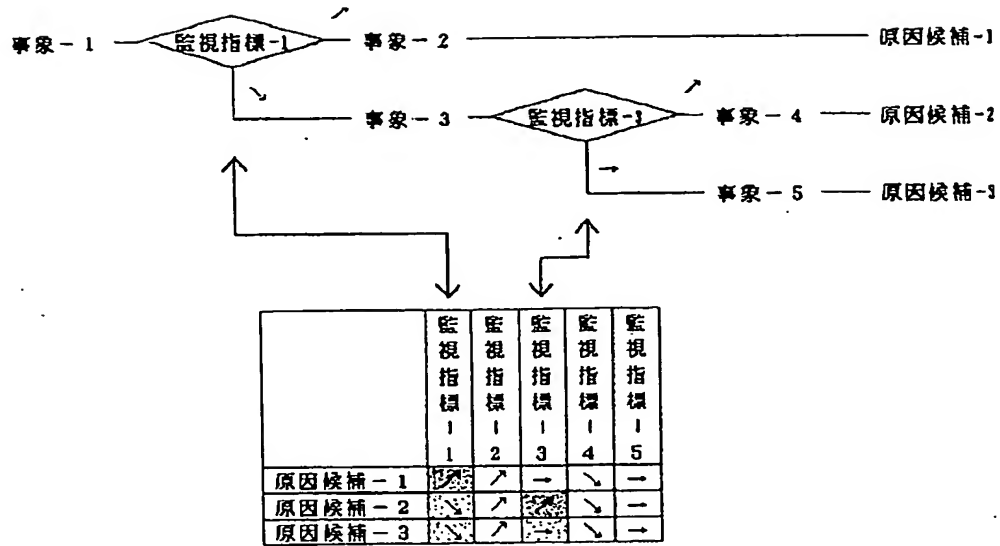
【図21】



【図20】



【圖 2 3】



(72)発明者 影山 隆夫  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株  
式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 大田 康雄  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株  
式会社東芝横浜事業所内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**